

Α.Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ Σ.Τ.Ε.Φ.
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΔΥΟ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΤΥΠΟΥ CΗΥΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΩΝ
ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ ΑΛΚΙΒΙΑΔΗ
ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ ΦΩΤΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
κ. Βόλος Χρήστος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- ▣ Εισαγωγή
- ▣ Η Εξέλιξη των Μη-Γραμμικών Δυναμικών Συστημάτων
- ▣ Δυναμικά Συστήματα
- ▣ Διαδικασία Μελέτης Ενός Χαοτικού Ηλεκτρικού – Ηλεκτρονικού Κυκλώματος
- ▣ Μελέτη του Ταλαντωτή Chua με Κυβική Χαρακτηριστική
- ▣ Εξισώσεις που Περιγράφουν τον Ταλαντωτή Chua
- ▣ Μη Γραμμικό Στοιχείο
- ▣ Κυβική Χαρακτηριστική $i-v$
- ▣ Διαγράμματα Διακλάδωσης
- ▣ Μελέτη της Δυναμικής Συμπεριφοράς του Ταλαντωτή Chua
- ▣ Αποτελέσματα Πειραματικής Διαδικασίας
- ▣ Συμπέρασμα

Εισαγωγή

- Στον αιώνα που μας αποχαιρέτησε η ανακάλυψη της κβαντικής φυσικής, λόγω της ανάγκης εξήγησης του ‘μικρόκοσμου’ και η διατύπωση της γενικής θεωρίας της σχετικότητας για την ερμηνεία των φαινομένων του σύμπαντος, οδήγησαν στην απαίτηση διατύπωσης μιας νέας ενοποιημένης θεώρησης των φυσικών δυνάμεων.
- Την ανάγκη αυτή ήρθε να καλύψει η μη-γραμμική δυναμική και η θεωρία του χάους, η οποία αναπτύχθηκε ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες. Η θεωρία του χάους άλλαξε εντελώς τον τρόπο θεώρησης των φυσικών φαινομένων και οδήγησε σε νέους δρόμους έρευνας, σε όλους τους τομείς των επιστημών.
- Στην επιστήμη το χάος ορίζεται σαν την εξαιρετικά ευαίσθητη εξάρτηση της κίνησης από τις αρχικές συνθήκες.

Η Εξέλιξη των Μη-Γραμμικών Δυναμικών Συστημάτων

- Henry Poincare (1889)
- Lyapunov (1907)
 - Θεωρία Ευσταθίας
- Edward Lorenz (1961)
- Michel Henon (1962)
- Robert May (1970)
- Chua: Σχεδιαστής του πρώτου αυτόνομου χαοτικού ηλεκτρονικού κυκλώματος (1983).
 - Θεωρίας σύνθεσης μη-γραμμικών κυκλωμάτων. Σήμερα έχει επικρατήσει η μέθοδος της τμηματικής γραμμικότητας.
 - Ταλαντωτής Chua (1990)

Δυναμικά Συστήματα

Ένα δυναμικό σύστημα αποτελεί γενικά ένα αιτιοκρατικό μαθηματικό μοντέλο, το οποίο περιγράφει την κατάσταση ενός συστήματος καθώς εξελίσσεται στο χρόνο.

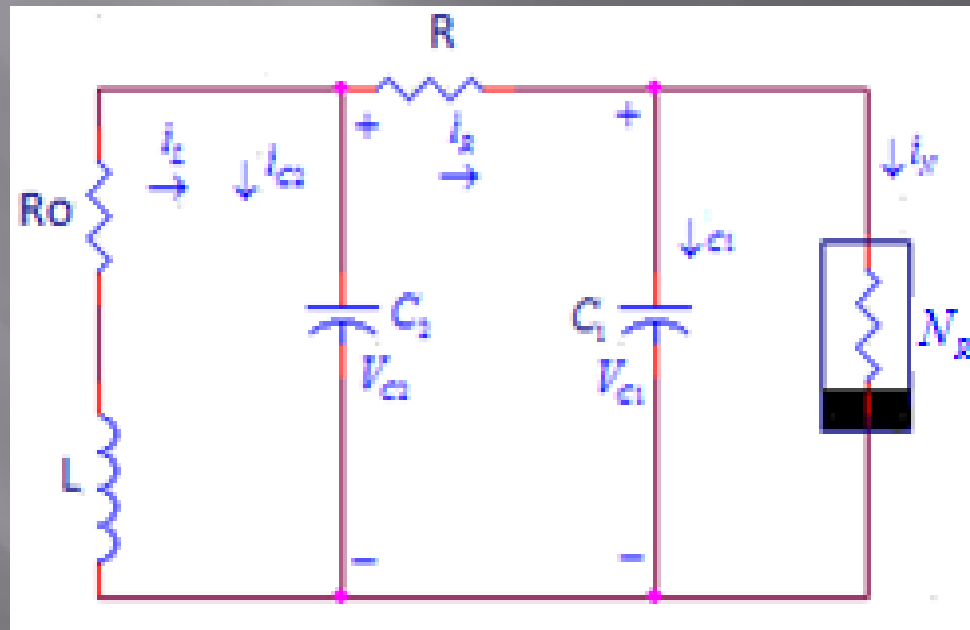
- Λύσεις των δυναμικών συστημάτων:
 - Σημείο ισορροπίας
 - Περιοδικές τροχιές
 - Χαοτικός ελκυστής

Διαδικασία Μελέτης Ενός Χαοτικού Ηλεκτρικού – Ηλεκτρονικού Κυκλώματος

- ▣ Η μοντελοποίηση του κυκλώματος και η εύρεση του συστήματος των διαφορικών εξισώσεων που το περιγράφουν.
- ▣ Η προσομοίωση του κυκλώματος με τη βοήθεια γνωστών εργαλείων (φασικά πορτρέτα, απεικονίσεις Poincaré, φάσματα ισχύος, εκθέτες Lyapunov, διάγραμμα διακλάδωσης).
- ▣ Η υλοποίηση του κυκλώματος, η πειραματική μελέτη της συμπεριφοράς του και η ανάλυση των εξαγόμενων πειραματικών δεδομένων.

Μελέτη του Ταλαντωτή Chua με Κυβική Χαρακτηριστική

Ταλαντωτής Chua



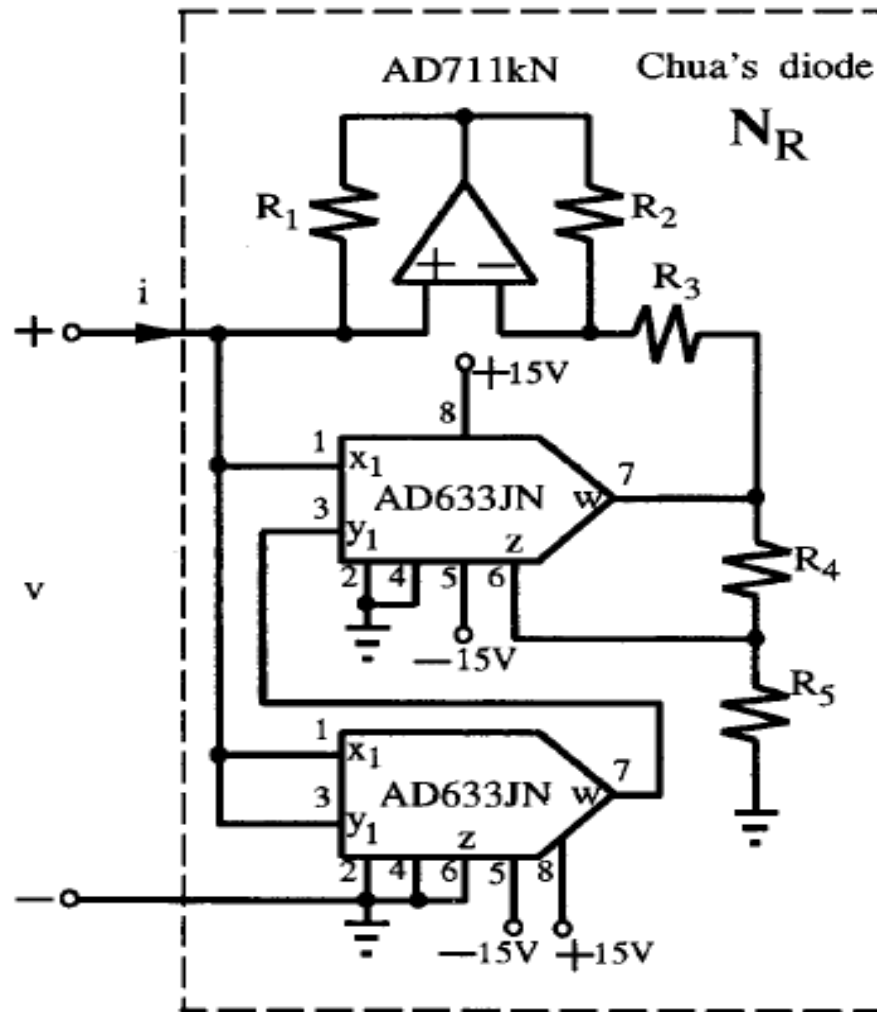
Εξισώσεις που Περιγράφουν τον Ταλαντωτή Chua

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} (-V_{C2} - i_L R_0)$$

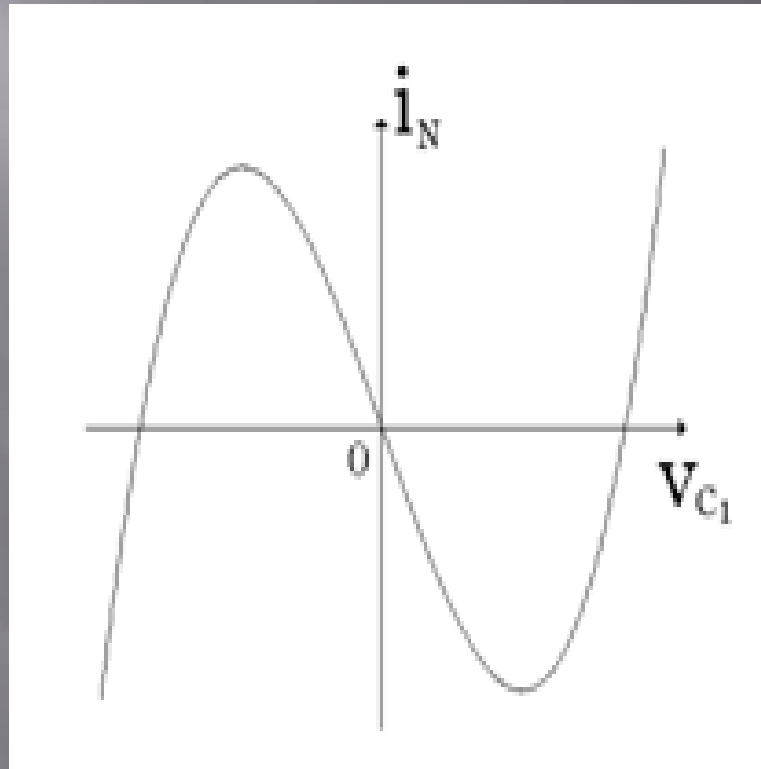
$$\frac{dV_{C2}}{dt} = \frac{1}{C2} i_L - \frac{1}{RC_2} (V_{C2} - V_{C1})$$

$$\frac{dV_{C1}}{dt} = \frac{1}{RC_1} (V_{C2} - V_{C1}) - \frac{1}{C_1} (-k_1 V_{C1} + k_3 V_{C1}^3)$$

Μη Γραμμικό Στοιχείο



Κυβική Χαρακτηριστική i-v

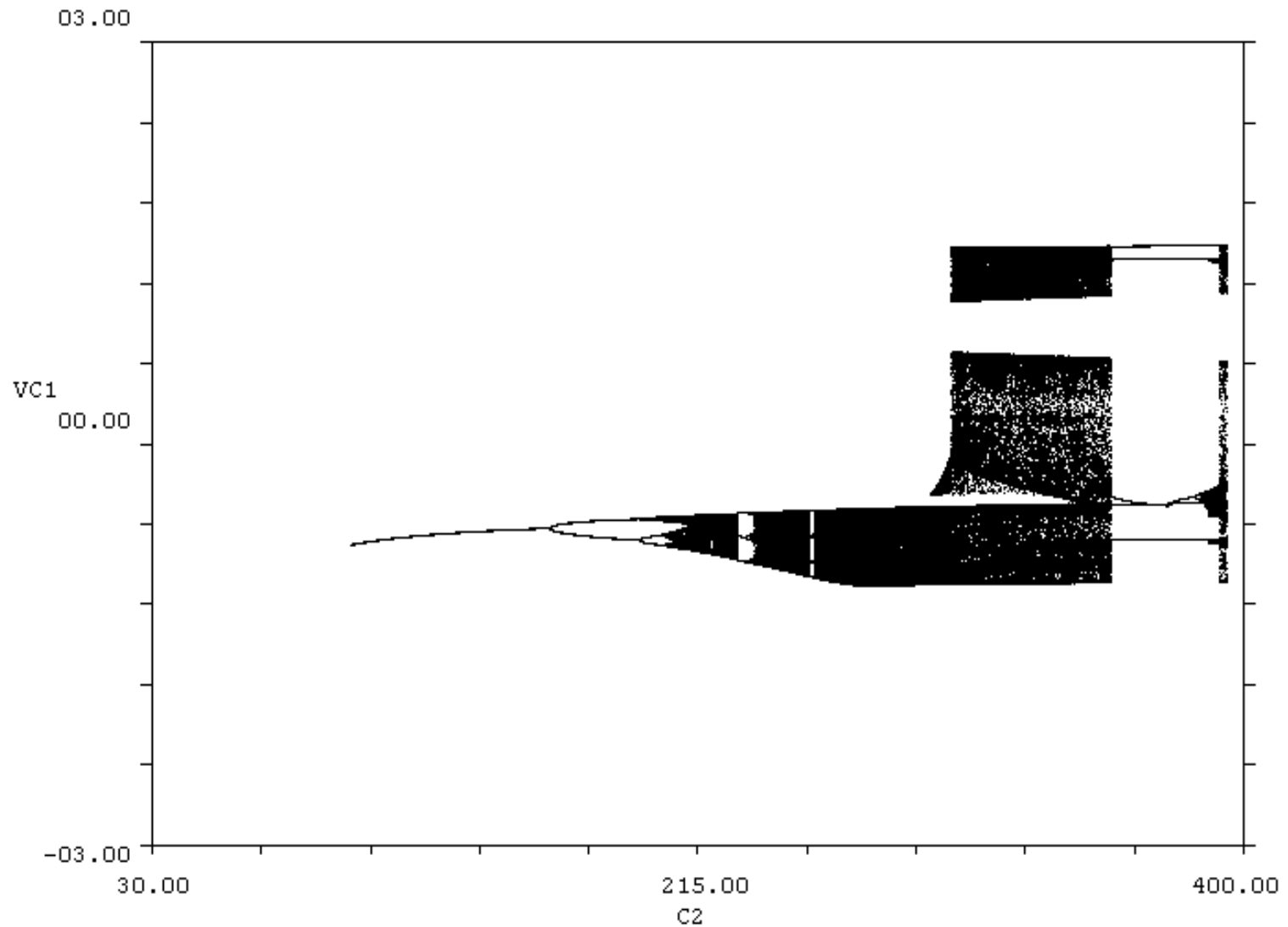


$$k_1 = \frac{1}{R_3}$$

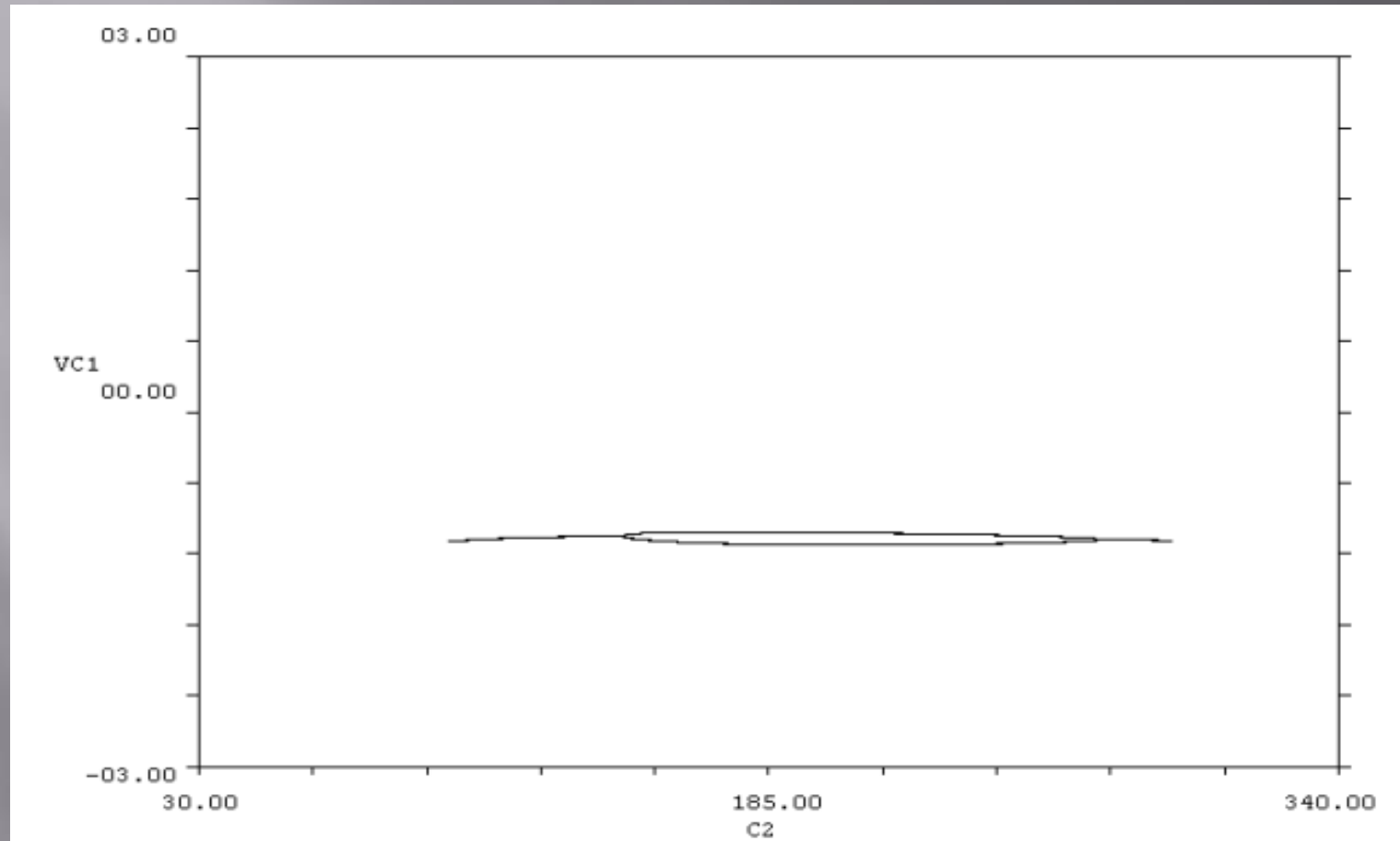
$$k_3 = \frac{R_4 + R_5}{R_3 R_4}$$

$$\dot{i}_N = -k_1 v_{C1} + k_3 v_{C1}^3$$

Διαγράμματα Διακλάδωσης



Μελέτη της Δυναμικής Συμπεριφοράς του Ταλαντωτή Chua

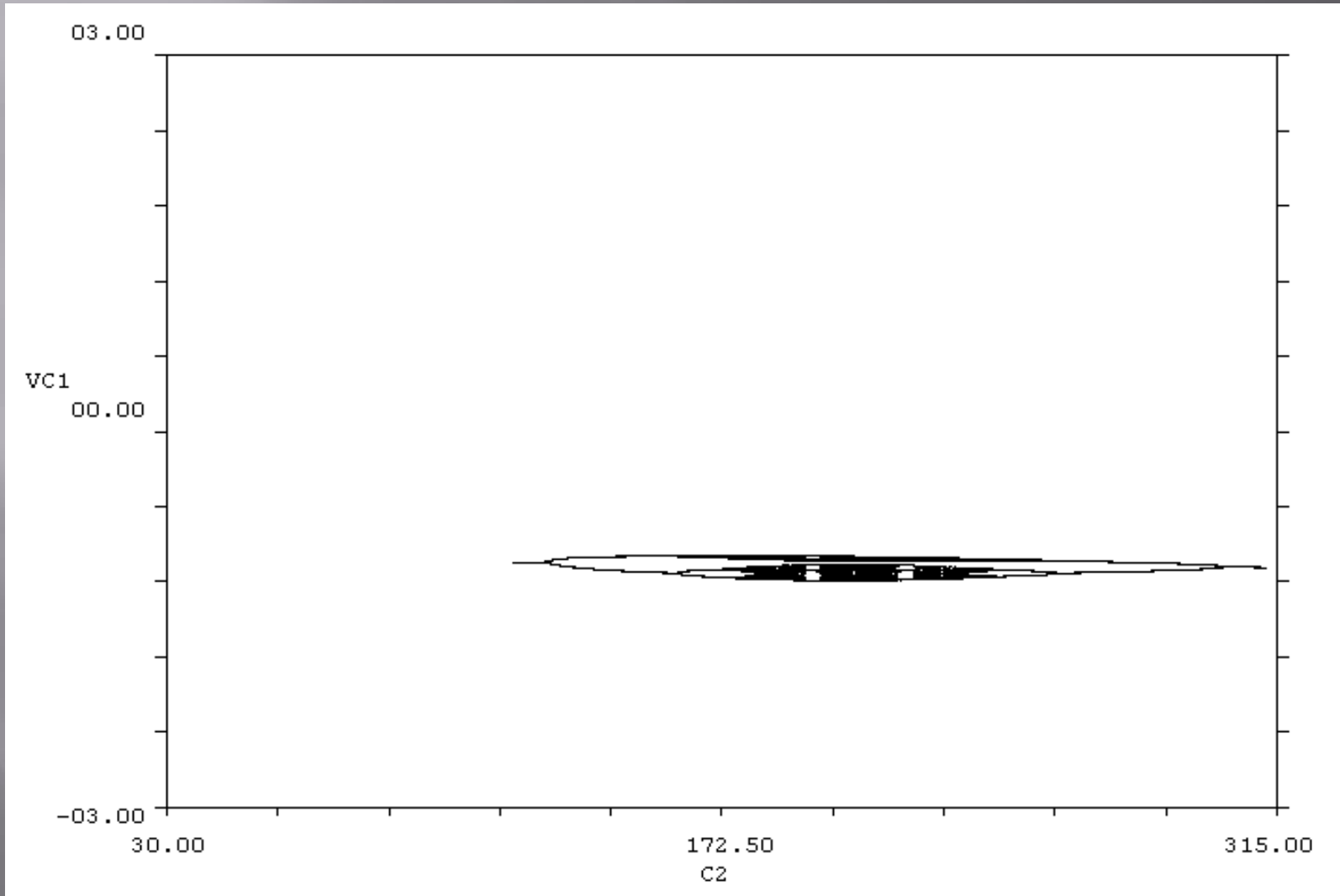


Διάγραμμα διακλάδωσης με αρχικές συνθήκες:

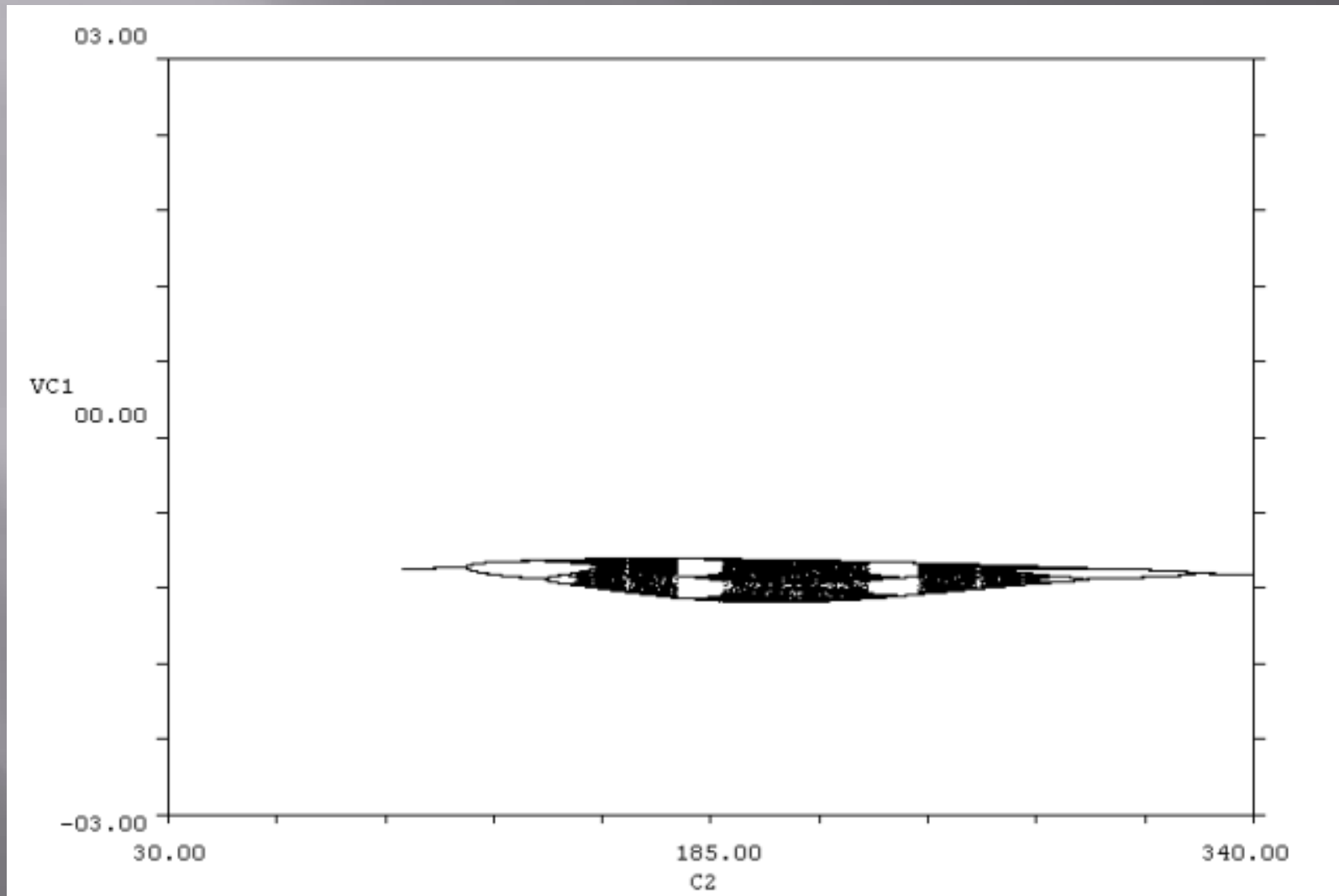
$k_1 = -0.5263$, $k_3 = 0.0213$, $R_0 = 30$, $(i_L)_0 = -0,002A$, $(V_{c1})_0 = -0,20V$, $(V_{C2})_0 = -0,15V$, $C_1 = 8.1nF$

και ονομάζεται κύρια φυσαλίδα.

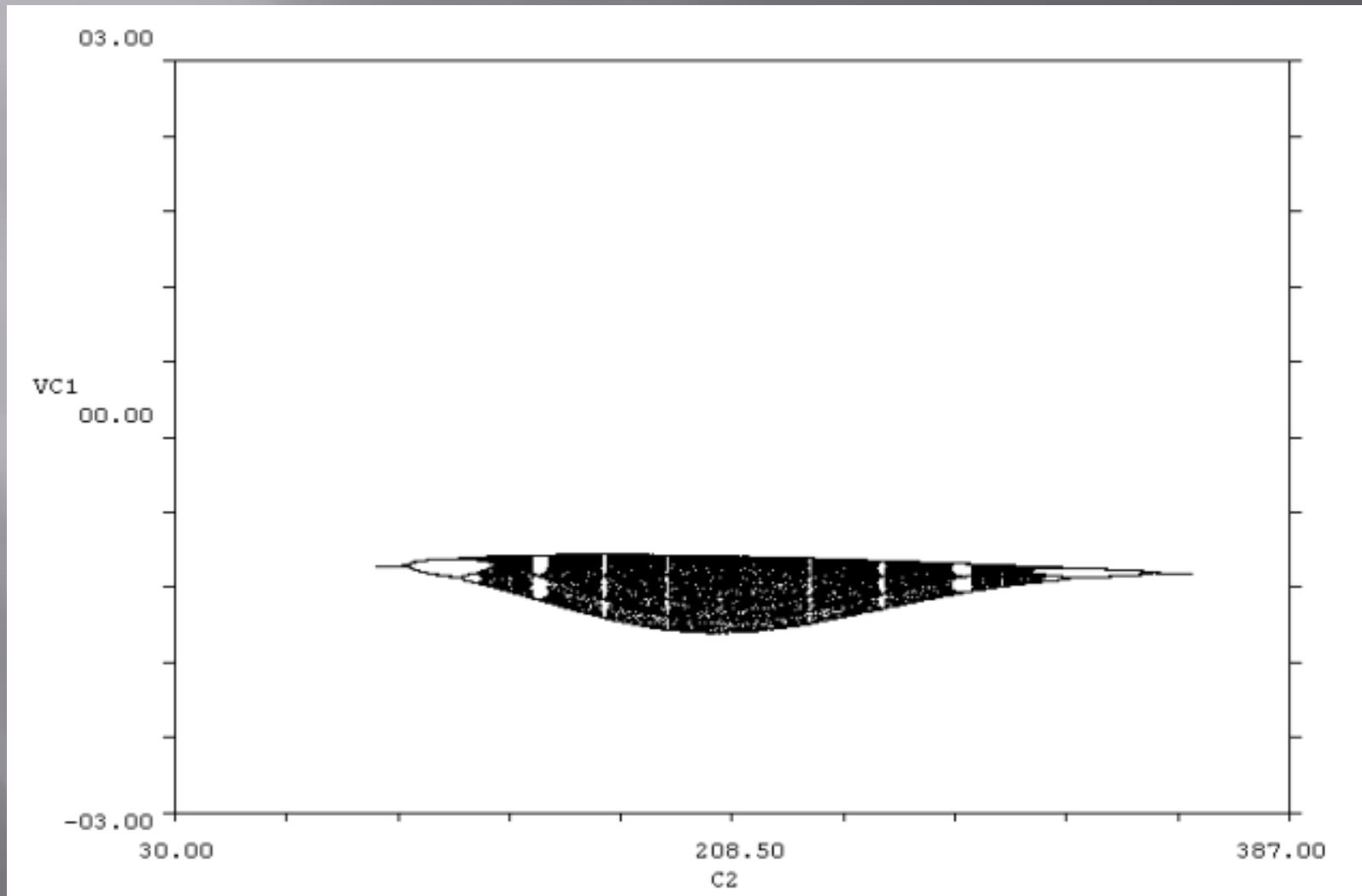
Διάγραμμα Διακλάδωσης για $C1=8nF$



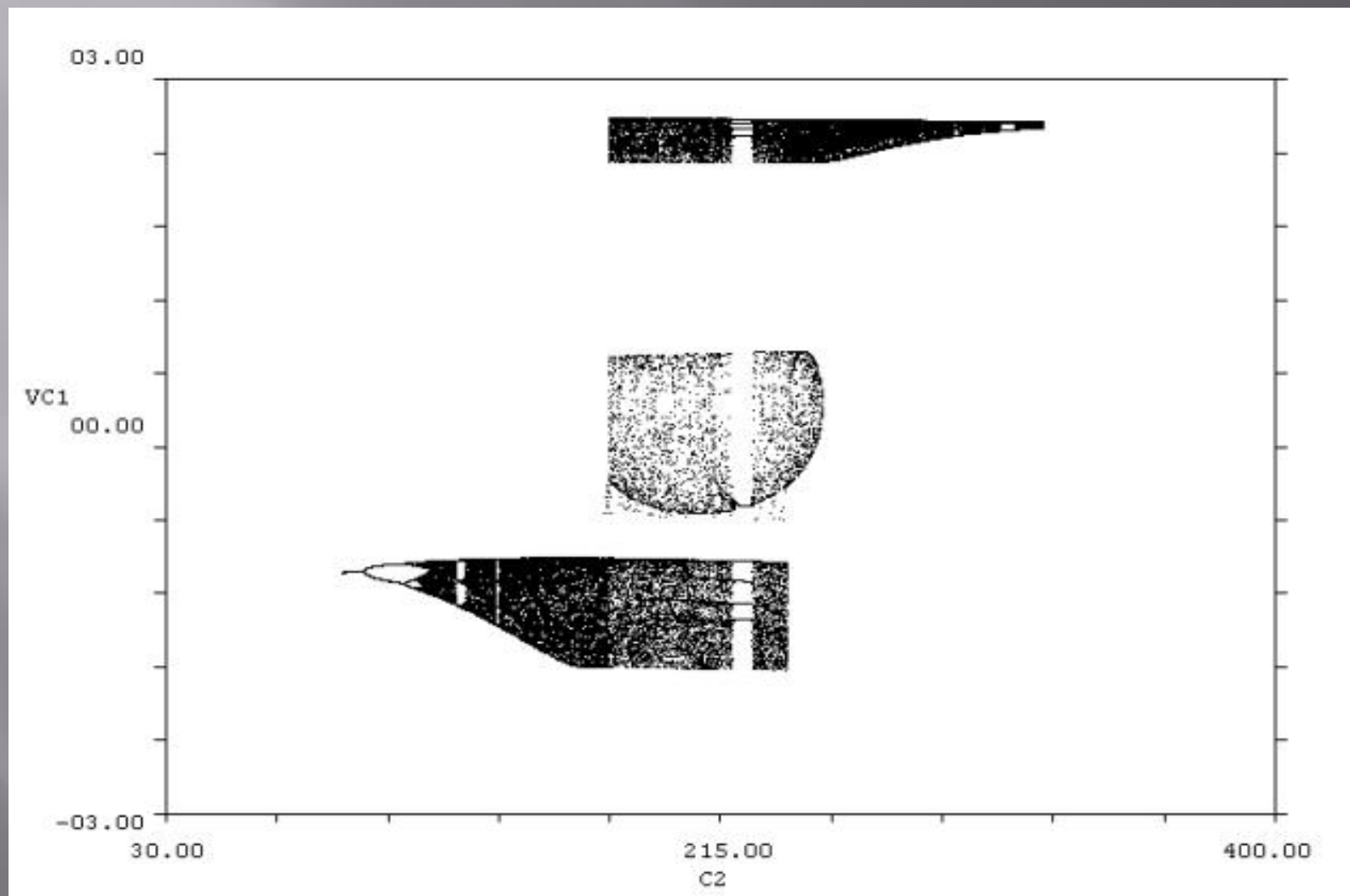
Διάγραμμα Διακλάδωσης για $C1=7.9nF$



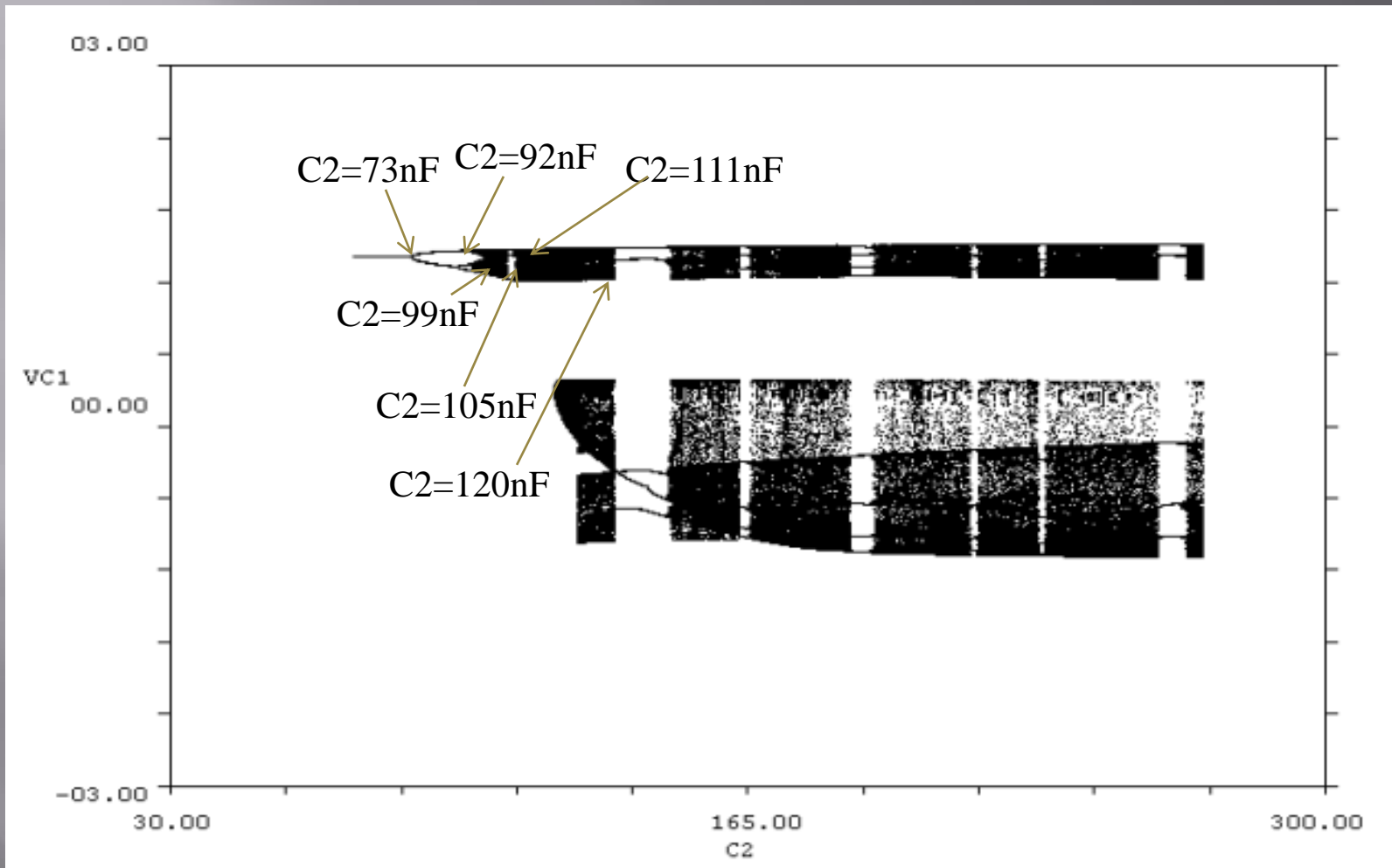
Διάγραμμα Διακλάδωσης για $C1=7.8\text{nF}$



Διάγραμμα Διακλάδωσης για $C1=7.7\text{nF}$



Διάγραμμα Διακλάδωσης για $C_1=7nF$

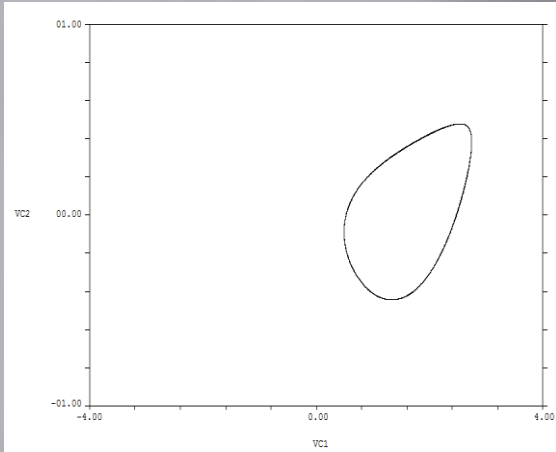


Διάγραμμα διακλάδωσης με αρχικές συνθήκες:

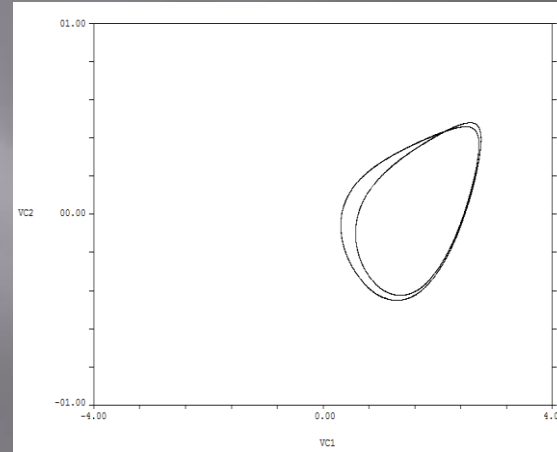
$$k_1 = -0.5263, k_3 = 0.0228, R_0 = 20, C_1 = 7nF$$

Φασικές Απεικονίσεις για VC1 με VC2

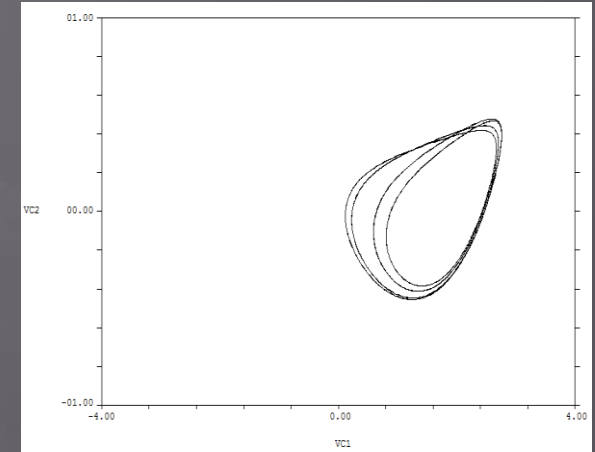
C2=73nF



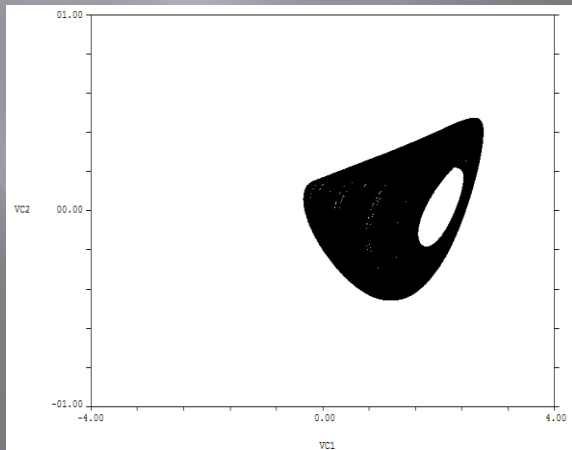
C2=92nF



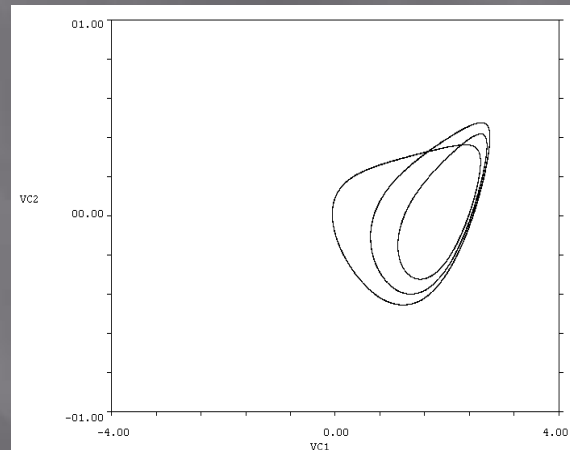
C2=99nF



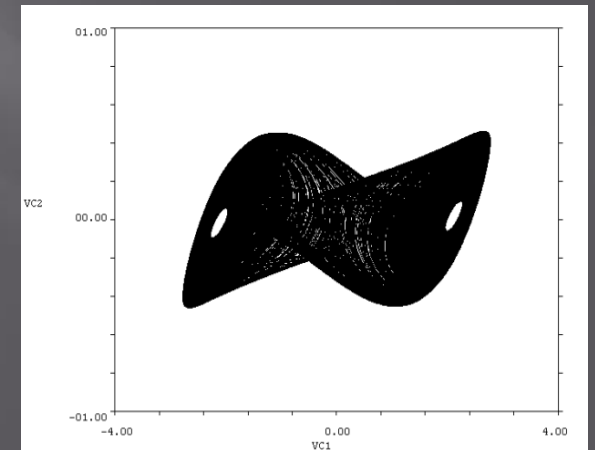
C2=105nF



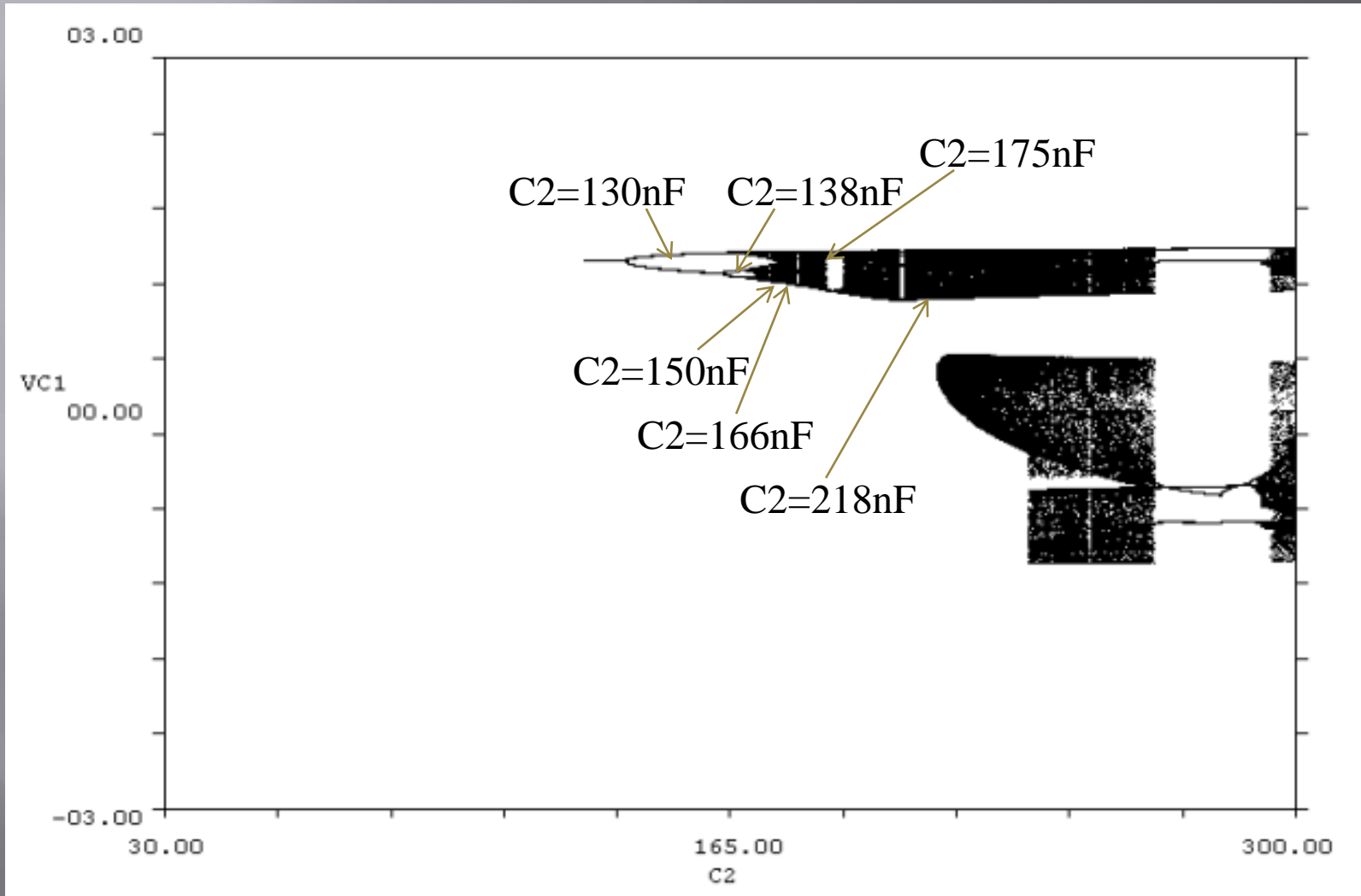
C2=111nF



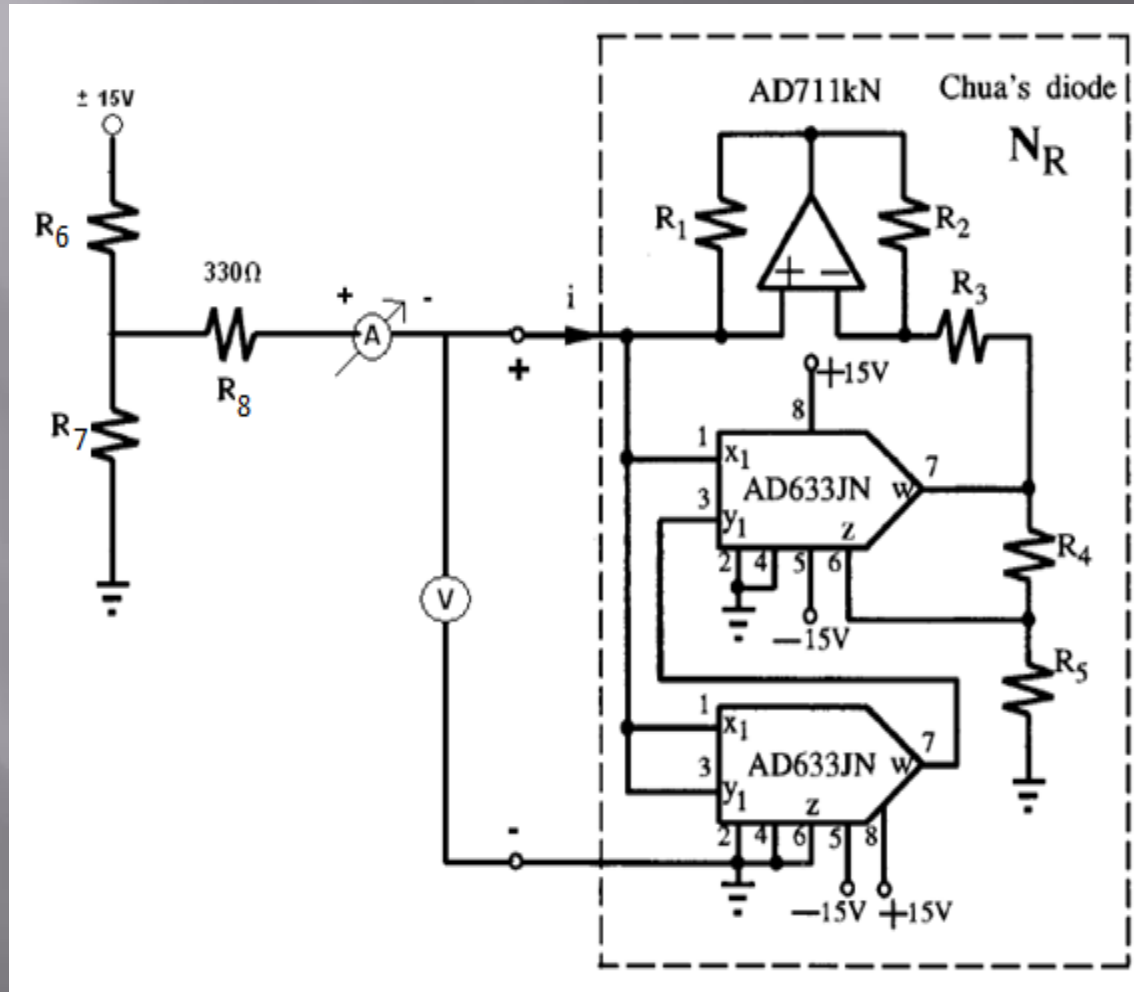
C2=120nF



Διάγραμμα Διακλάδωσης για $C1=7.6nF$



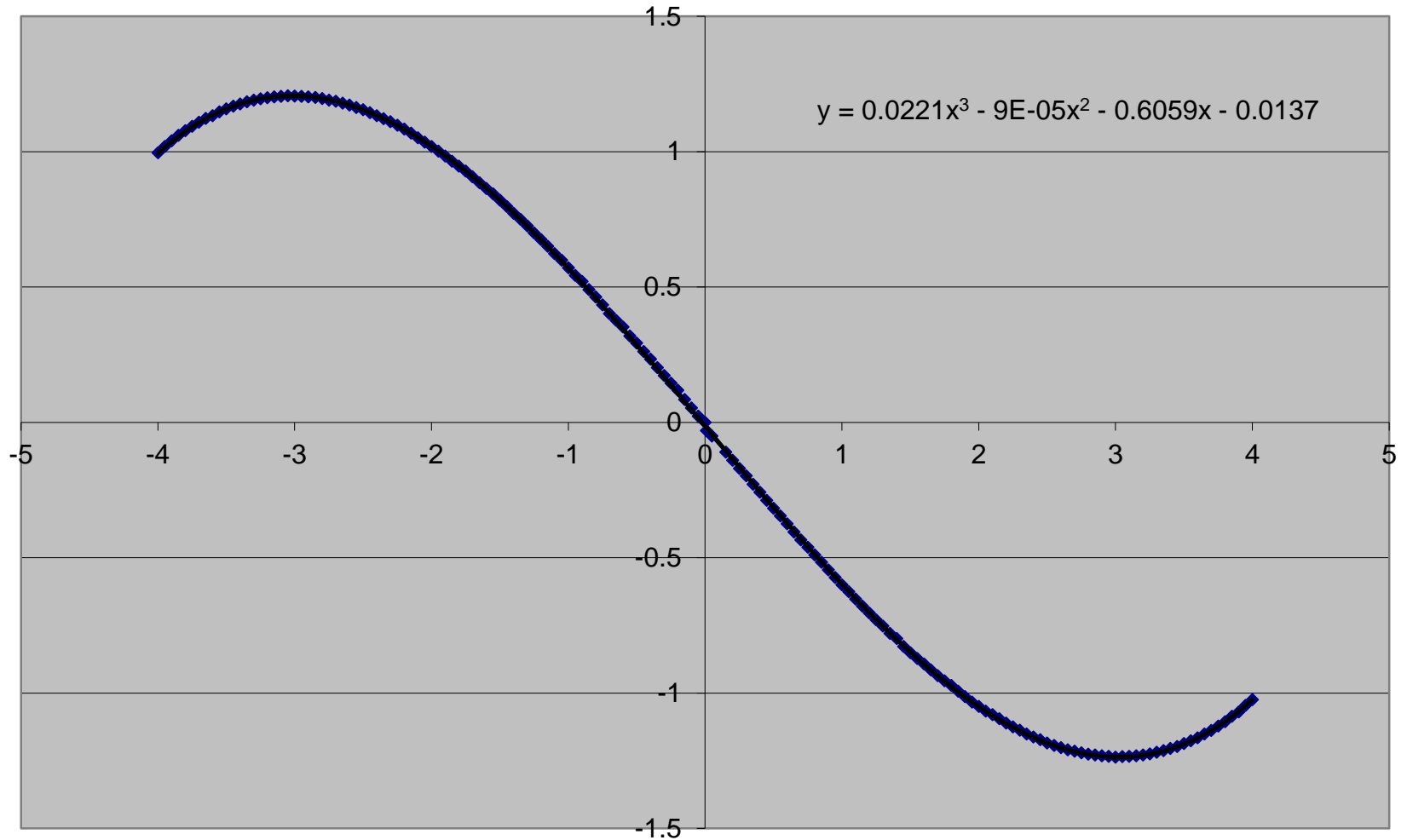
Αποτελέσματα Πειραματικής Διαδικασίας



Τιμές στοιχείων: $R_1 = R_2 = 2K\Omega$, $R_3 = 1.671K\Omega$, $R_4 = 3.01K\Omega$, $R_5 = 7.887K\Omega$,

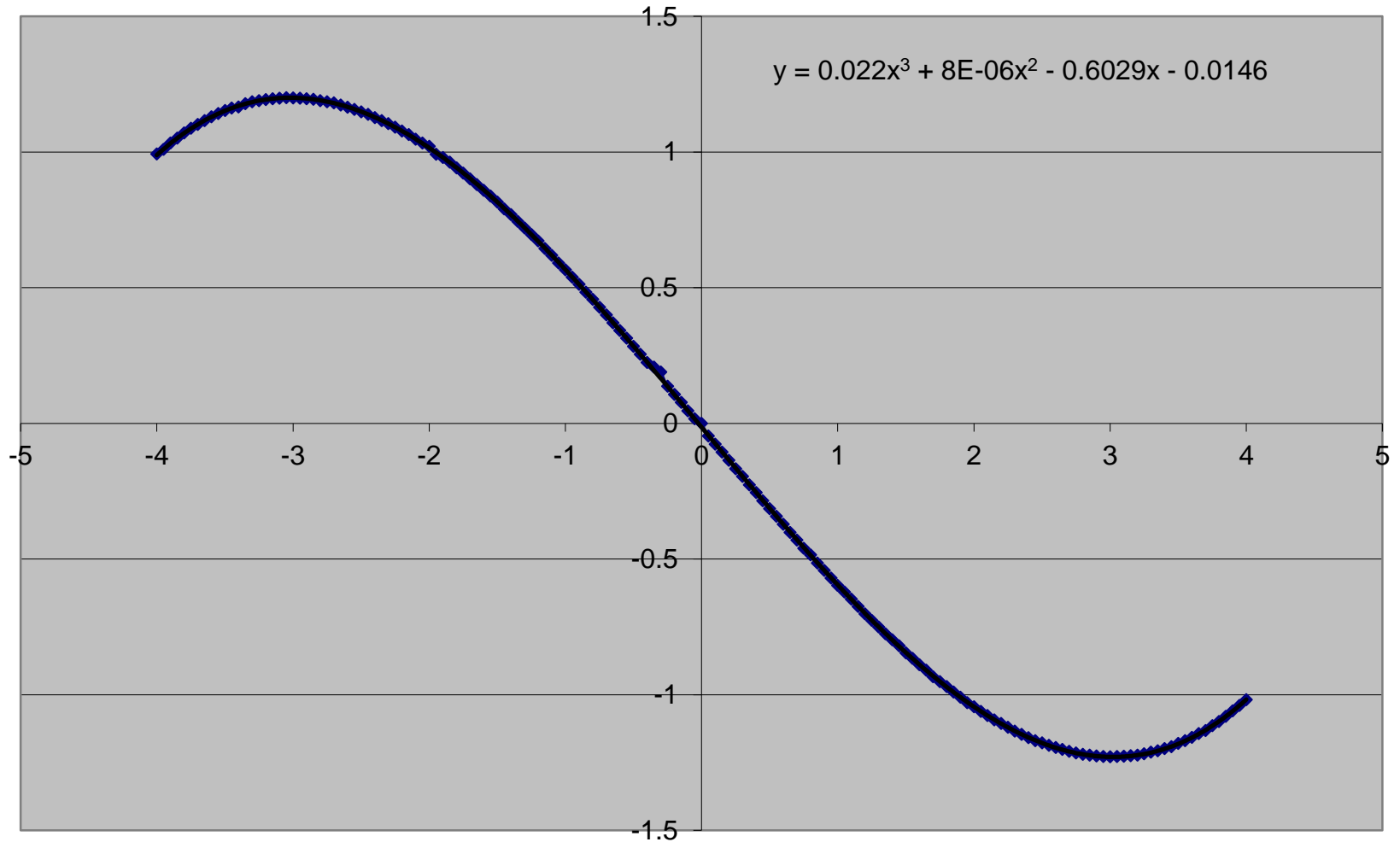
V(V)	I(mA)	V(V)	I(mA)	V(V)	I(mA)	V(V)	I(mA)	V(V)	I(mA)	V(V)	I(mA)	V(V)	I(mA)	V(V)	I(mA)	V(V)	I(mA)	V(V)	I(mA)
-4	0,996	-3,2	1,199	-2,4	1,133	-1,6	0,864	-0,8	0,463	0	0	0,8	-0,49	1,6	-0,893	2,4	-1,162	3,2	-1,229
-3,95	1,019	-3,15	1,202	-2,35	1,122	-1,55	0,844	-0,75	0,434	0,05	-0,051	0,85	-0,517	1,65	-0,915	2,45	-1,172	3,25	-1,225
-3,9	1,04	-3,1	1,204	-2,3	1,11	-1,5	0,82	-0,7	0,402	0,01	-0,03	0,9	-0,545	1,7	-0,936	2,5	-1,185	3,3	-1,219
-3,85	1,06	-3,05	1,206	-2,25	1,097	-1,45	0,797	-0,65	0,376	0,15	-0,11	0,95	-0,573	1,75	-0,955	2,55	-1,194	3,35	-1,213
-3,8	1,077	-3	1,205	-2,2	1,083	-1,4	0,772	-0,6	0,352	0,2	-0,14	1	-0,6	1,8	-0,972	2,6	-1,202	3,4	-1,205
-3,75	1,093	-2,95	1,204	-2,15	1,068	-1,35	0,75	-0,55	0,319	0,25	-0,17	1,05	-0,626	1,85	-0,993	2,65	-1,21	3,45	-1,198
-3,7	1,108	-2,9	1,202	-2,1	1,051	-1,3	0,726	-0,5	0,293	0,3	-0,198	1,1	-0,653	1,9	-1,013	2,7	-1,215	3,5	-1,187
-3,65	1,123	-2,85	1,2	-2,05	1,035	-1,25	0,7	-0,45	0,262	0,35	-0,229	1,15	-0,679	1,95	-1,033	2,75	-1,221	3,55	-1,176
-3,6	1,133	-2,8	1,196	-2	1,019	-1,2	0,675	-0,4	0,233	0,4	-0,258	1,2	-0,704	2	-1,05	2,8	-1,226	3,6	-1,165
-3,55	1,147	-2,75	1,19	-1,95	1,002	-1,15	0,65	-0,35	0,202	0,45	-0,288	1,25	-0,729	2,05	-1,067	2,85	-1,229	3,65	-1,151
-3,5	1,158	-2,7	1,186	-1,9	0,984	-1,1	0,623	-0,3	0,173	0,5	-0,318	1,3	-0,753	2,1	-1,08	2,9	-1,232	3,7	-1,138
-3,45	1,168	-2,65	1,179	-1,85	0,964	-1,05	0,599	-0,25	0,145	0,55	-0,346	1,35	-0,78	2,15	-1,095	2,95	-1,234	3,75	-1,122
-3,4	1,176	-2,6	1,172	-1,8	0,946	-1	0,571	-0,2	0,119	0,6	-0,375	1,4	-0,799	2,2	-1,111	3	-1,237	3,8	-1,106
-3,35	1,184	-2,55	1,163	-1,75	0,928	-0,95	0,543	-0,15	0,084	0,65	-0,405	1,45	-0,828	2,25	-1,125	3,05	-1,235	3,85	-1,086
-3,3	1,19	-2,5	1,155	-1,7	0,907	-0,9	0,52	-0,1	0,053	0,7	-0,434	1,5	-0,851	2,3	-1,137	3,1	-1,234	3,9	-1,07
-3,25	1,195	-2,45	1,144	-1,65	0,885	-0,85	0,49	-0,05	0,023	0,75	-0,462	1,55	-0,872	2,35	-1,151	3,15	-1,232	3,95	-1,046

Πειραματική Χαρακτηριστική I-V

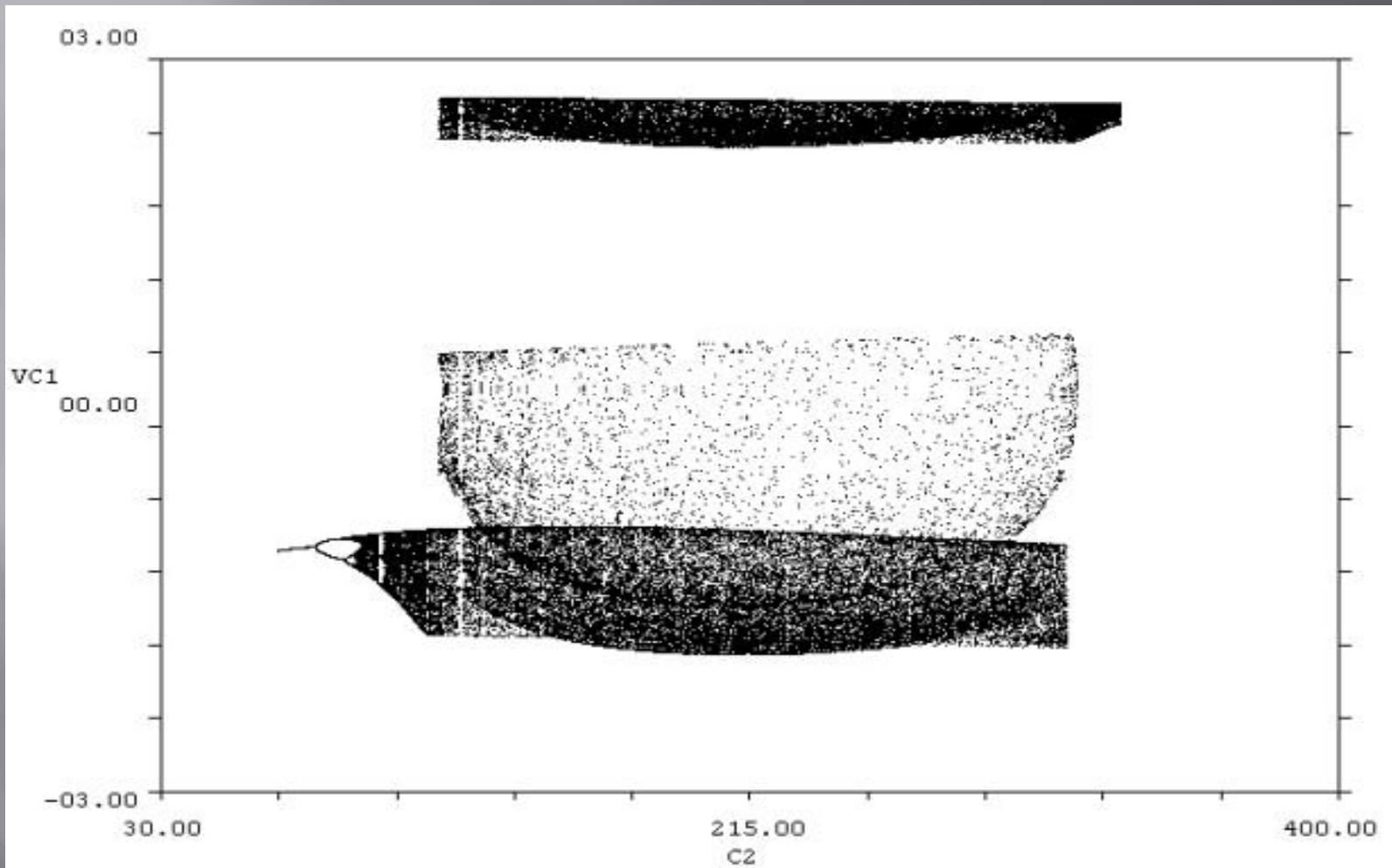


V(V)	I(mA)	V(V)	I(mA)	V(V)	I(mA)	V(V)	I(mA)	V(V)	I(mA)	V(V)	I(mA)	V(V)	I(mA)	V(V)	I(mA)	V(V)	I(mA)	V(V)	I(mA)
-4	0,993	-3,2	1,193	-2,4	1,127	-1,6	0,859	-0,8	0,457	0	0	0,8	-0,485	1,6	-0,889	2,4	-1,158	3,2	-1,223
-3,95	1,01	-3,15	1,196	-2,35	1,116	-1,55	0,838	-0,75	0,428	0,05	-0,047	0,85	-0,515	1,65	-0,91	2,45	-1,169	3,25	-1,218
-3,9	1,033	-3,1	1,198	-2,3	1,104	-1,5	0,815	-0,7	0,4	0,1	-0,077	0,9	-0,542	2	-0,934	2,5	-1,178	3,3	-1,212
-3,85	1,051	-3,05	1,2	-2,25	1,091	-1,45	0,79	-0,65	0,37	0,15	-0,106	0,95	-0,57	1,75	-0,952	2,55	-1,187	3,35	-1,207
-3,8	1,07	-3	1,199	-2,2	1,077	-1,4	0,769	-0,6	0,342	0,2	-0,136	1	-0,597	1,8	-0,97	2,6	-1,195	3,4	-1,199
-3,75	1,087	-2,95	1,198	-2,15	1,064	-1,35	0,744	-0,55	0,314	0,25	-0,167	1,05	-0,622	1,85	-0,99	2,65	-1,202	3,45	-1,192
-3,7	1,101	-2,9	1,196	-2,1	1,047	-1,3	0,72	-0,5	0,284	0,3	-0,196	1,1	-0,648	1,9	-1,009	2,7	-1,209	3,5	-1,18
-3,65	1,116	-2,85	1,194	-2,05	1,033	-1,25	0,696	-0,45	0,254	0,35	-0,227	1,15	-0,675	1,95	-1,029	2,75	-1,215	3,55	-1,169
-3,6	1,13	-2,8	1,189	-2	1,021	-1,2	0,672	-0,4	0,224	0,4	-0,255	1,2	-0,702	2	-1,045	2,8	-1,22	3,6	-1,157
-3,55	1,142	-2,75	1,185	-1,95	0,992	-1,15	0,644	-0,35	0,207	0,45	-0,285	1,25	-0,726	2,05	-1,062	2,85	-1,223	3,65	-1,143
-3,5	1,153	-2,7	1,181	-1,9	0,98	-1,1	0,619	-0,3	0,189	0,5	-0,314	1,3	-0,751	2,1	-1,077	2,9	-1,226	3,7	-1,132
-3,45	1,162	-2,65	1,173	-1,85	0,962	-1,05	0,591	-0,25	0,137	0,55	-0,343	1,35	-0,776	2,15	-1,093	2,95	-1,228	3,75	-1,114
-3,4	1,166	-2,6	1,165	-1,8	0,941	-1	0,566	-0,2	0,106	0,6	-0,372	1,4	-0,798	2,2	-1,106	3	-1,229	3,8	-1,099
-3,35	1,178	-2,55	1,157	-1,75	0,922	-0,95	0,538	-0,15	0,077	0,65	-0,402	1,45	-0,82	2,25	-1,12	3,05	-1,228	3,85	-1,08
-3,3	1,185	-2,5	1,148	-1,7	0,901	-0,9	0,512	-0,1	0,046	0,7	-0,43	1,5	-0,846	2,3	-1,134	3,1	-1,227	3,9	-1,06
-3,25	1,189	-2,45	1,139	-1,65	0,88	-0,85	0,483	-0,05	0,017	0,75	-0,46	1,55	-0,866	2,35	-1,146	3,15	-1,225	3,95	-1,04

Πειραματική Χαρακτηριστική I-V



Διάγραμμα Διακλάδωσης για $C1=7.4\text{nF}$

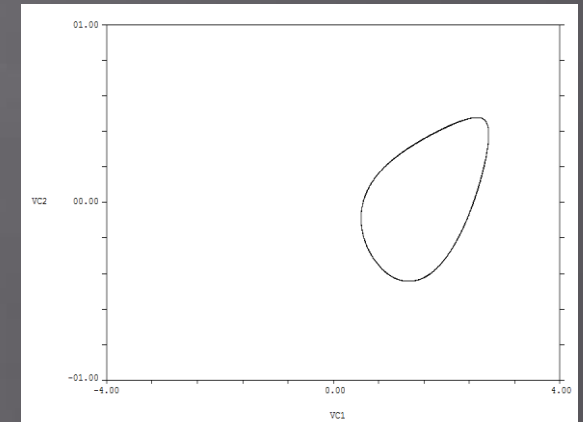
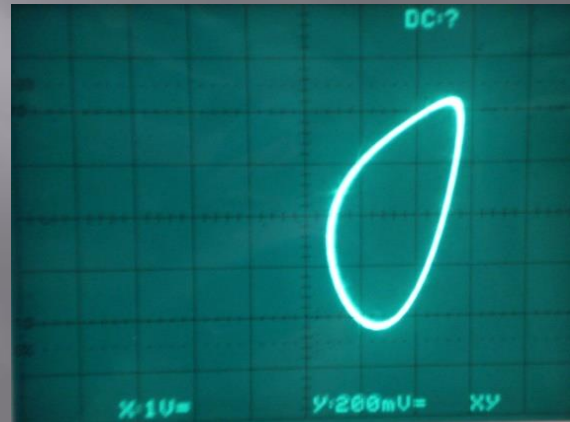
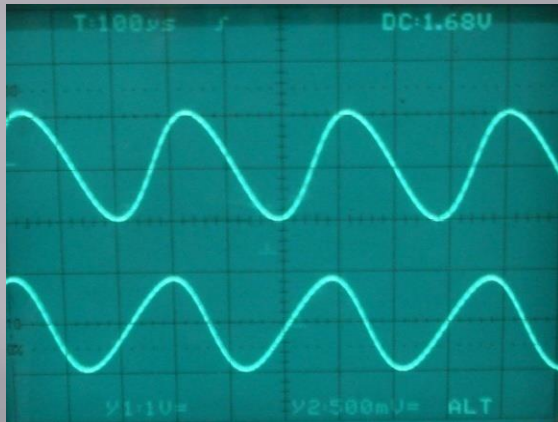


Πειραματικά: $k_1=0.606\text{mS}$ $k_3=0.0221\text{mS/V}^2$

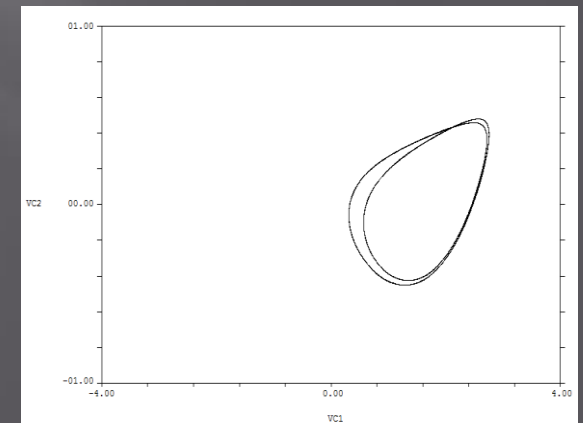
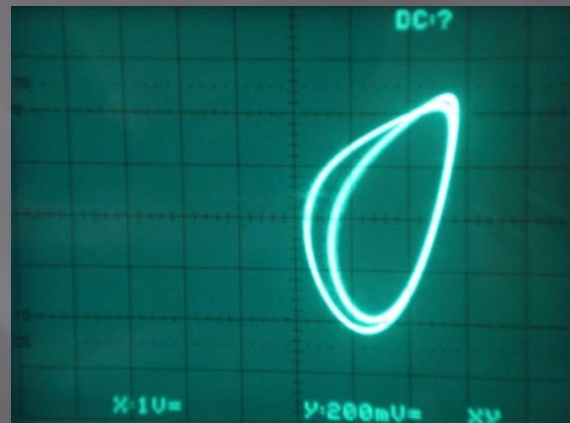
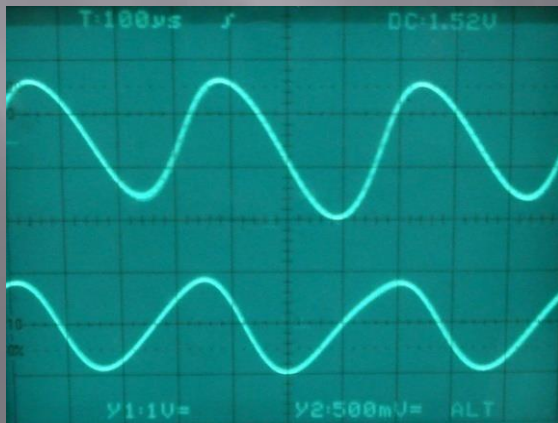
Θεωρητικά: $k_1=0.598\text{mS}$ $k_3=0.0252\text{mS/V}^2$

Φασικές Απεικονίσεις και Χρονοσειρές των Σημάτων VC1 με VC2

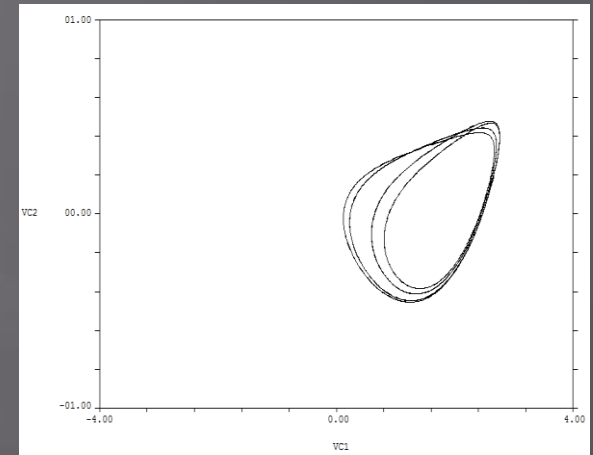
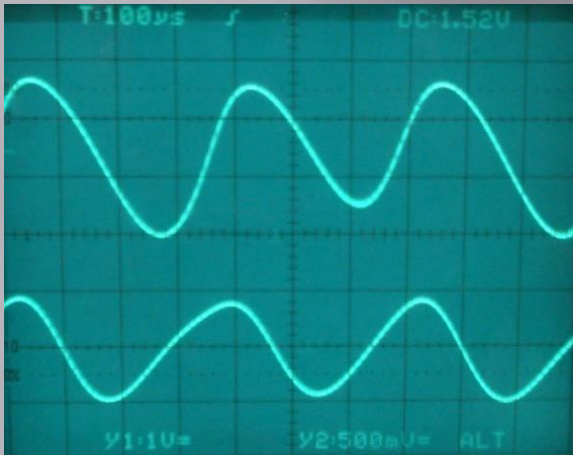
$C2=55.5\text{nF}$



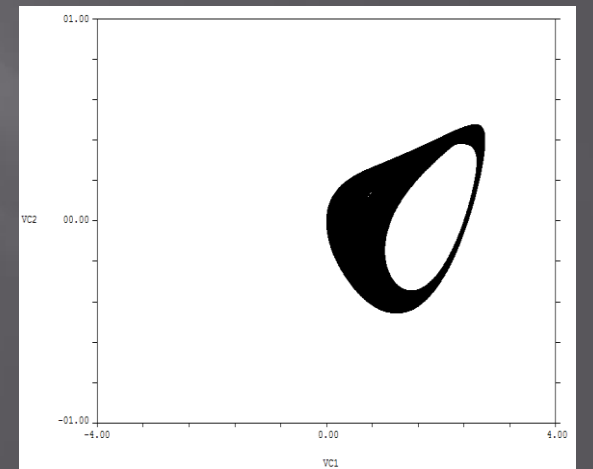
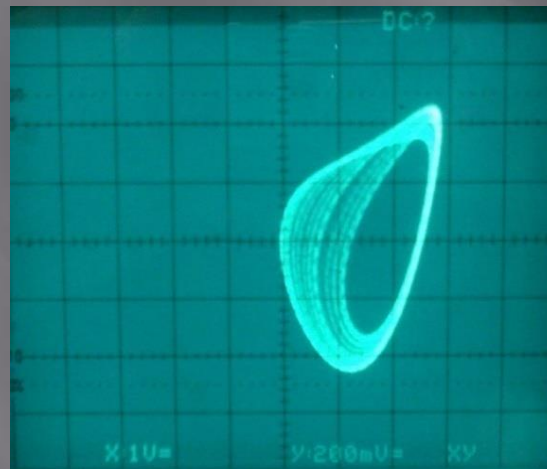
$C2=59.7\text{nF}$



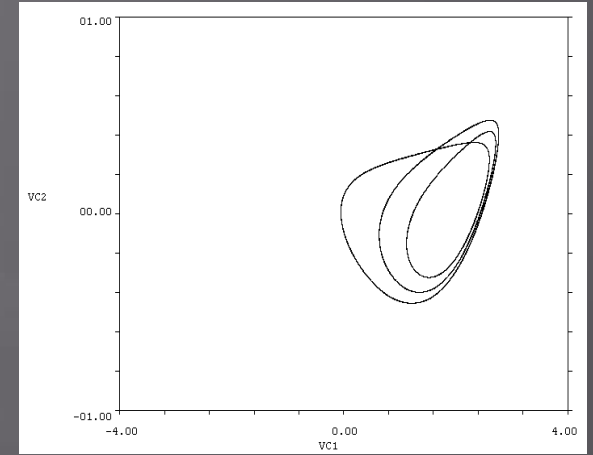
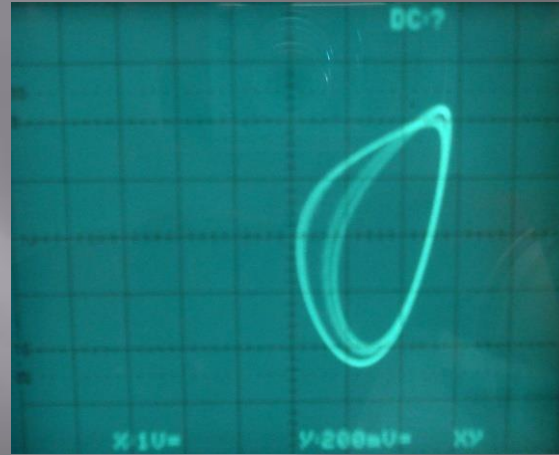
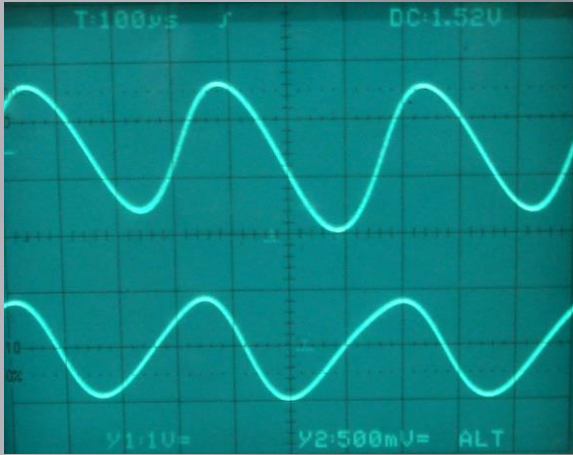
$C2=64.6\text{nF}$



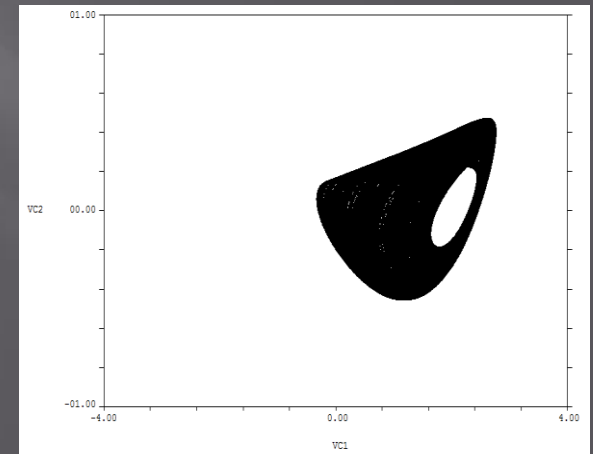
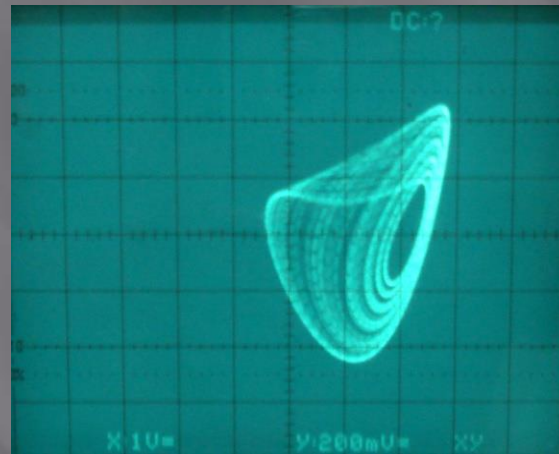
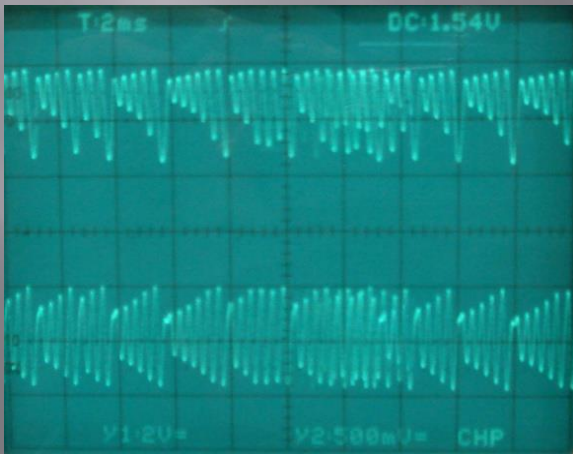
$C2=67.3\text{nF}$



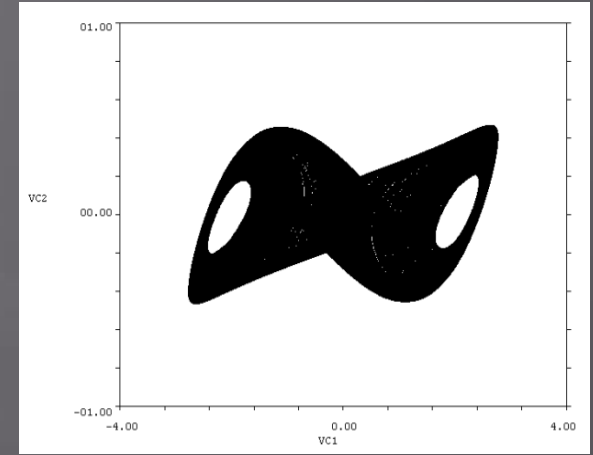
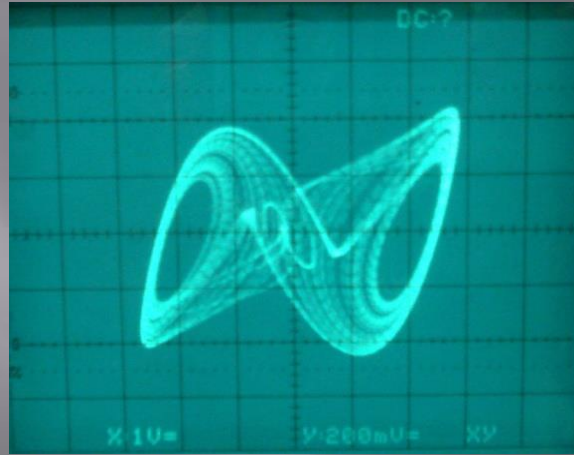
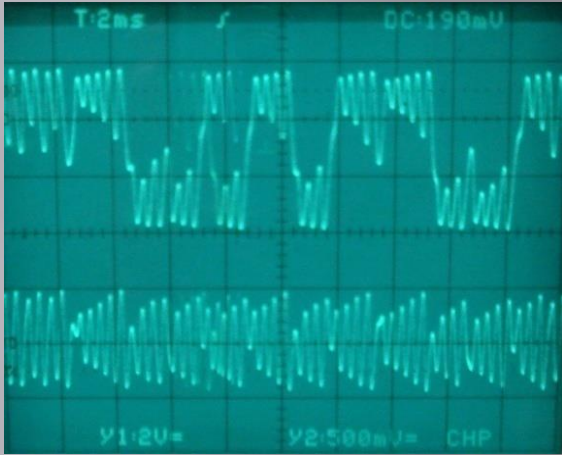
$C2=68.1\text{nF}$



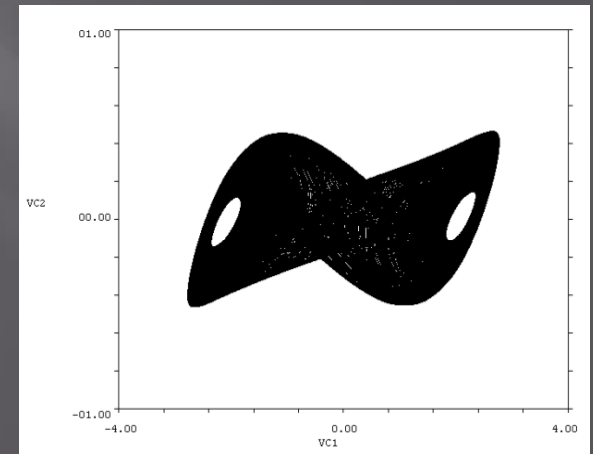
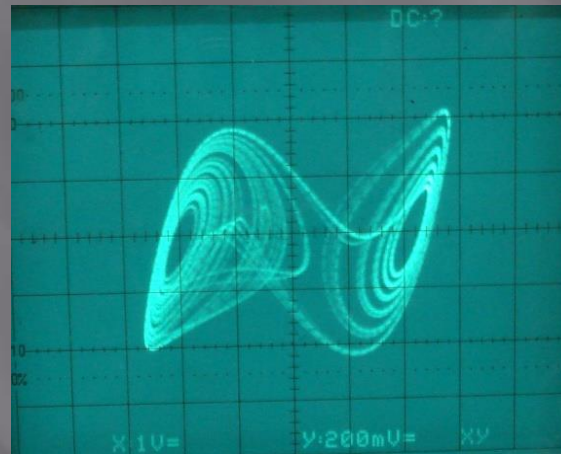
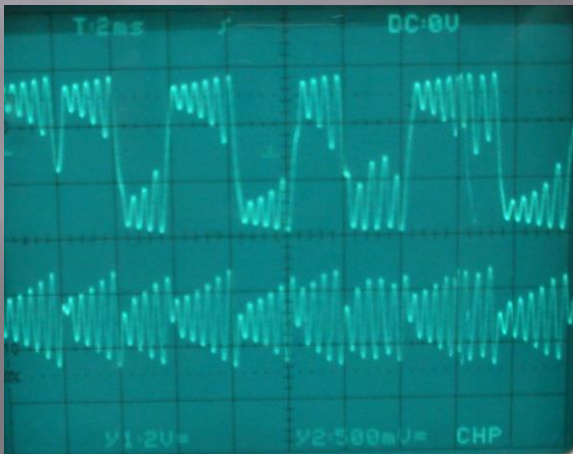
$C2=73.8\text{nF}$



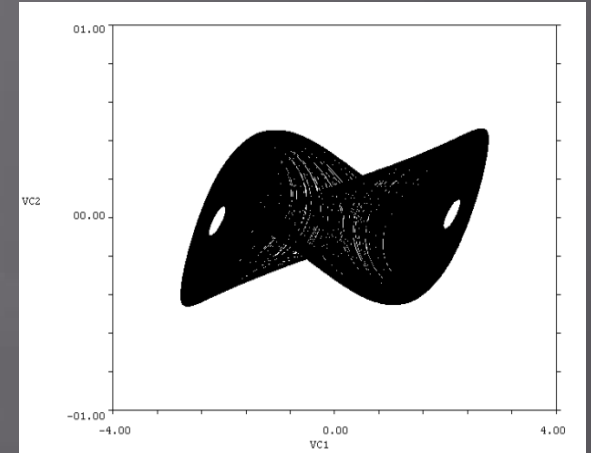
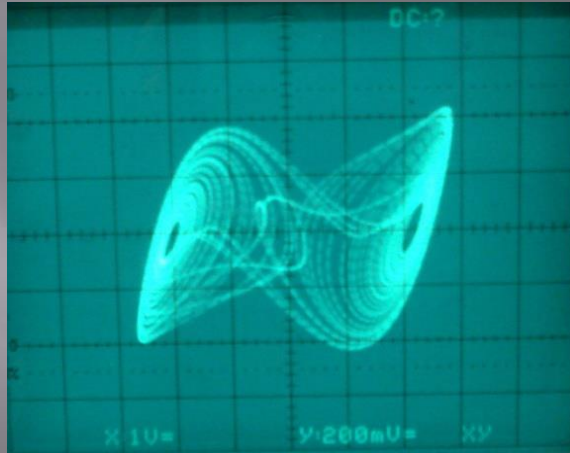
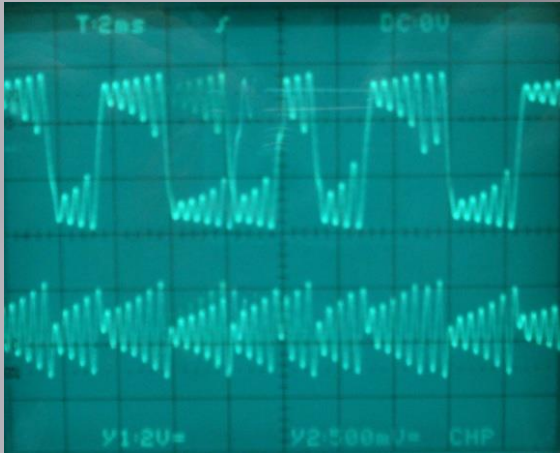
$C2=85.6\text{nF}$



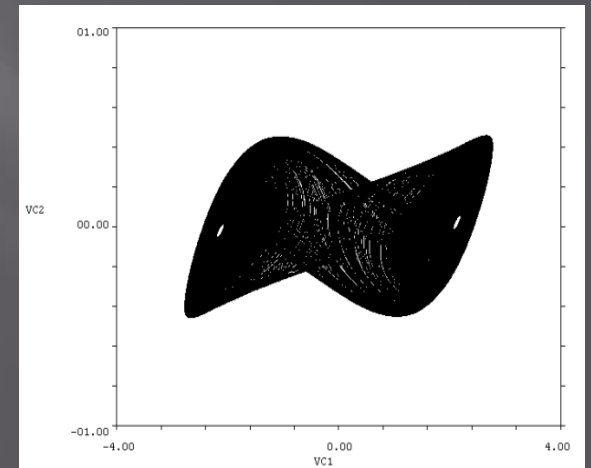
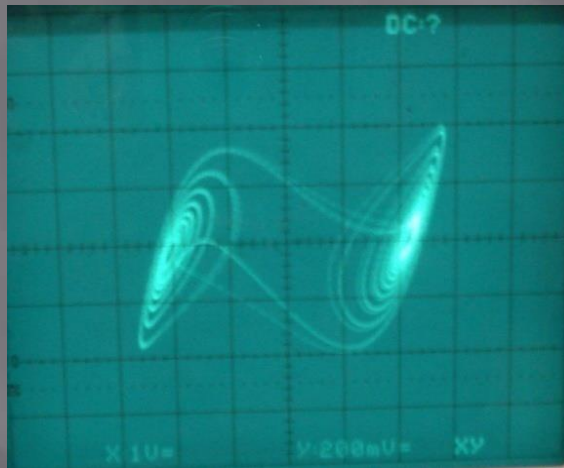
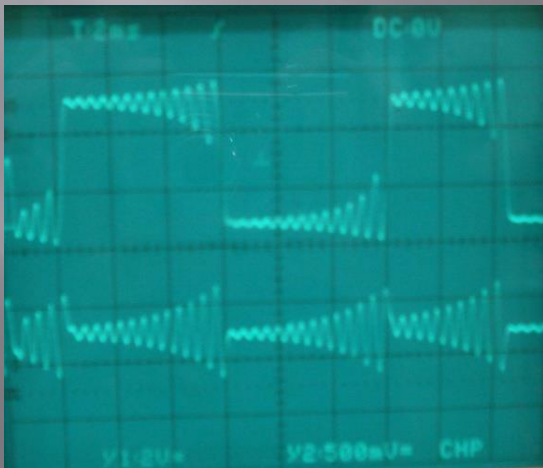
$C2=90.8\text{nF}$



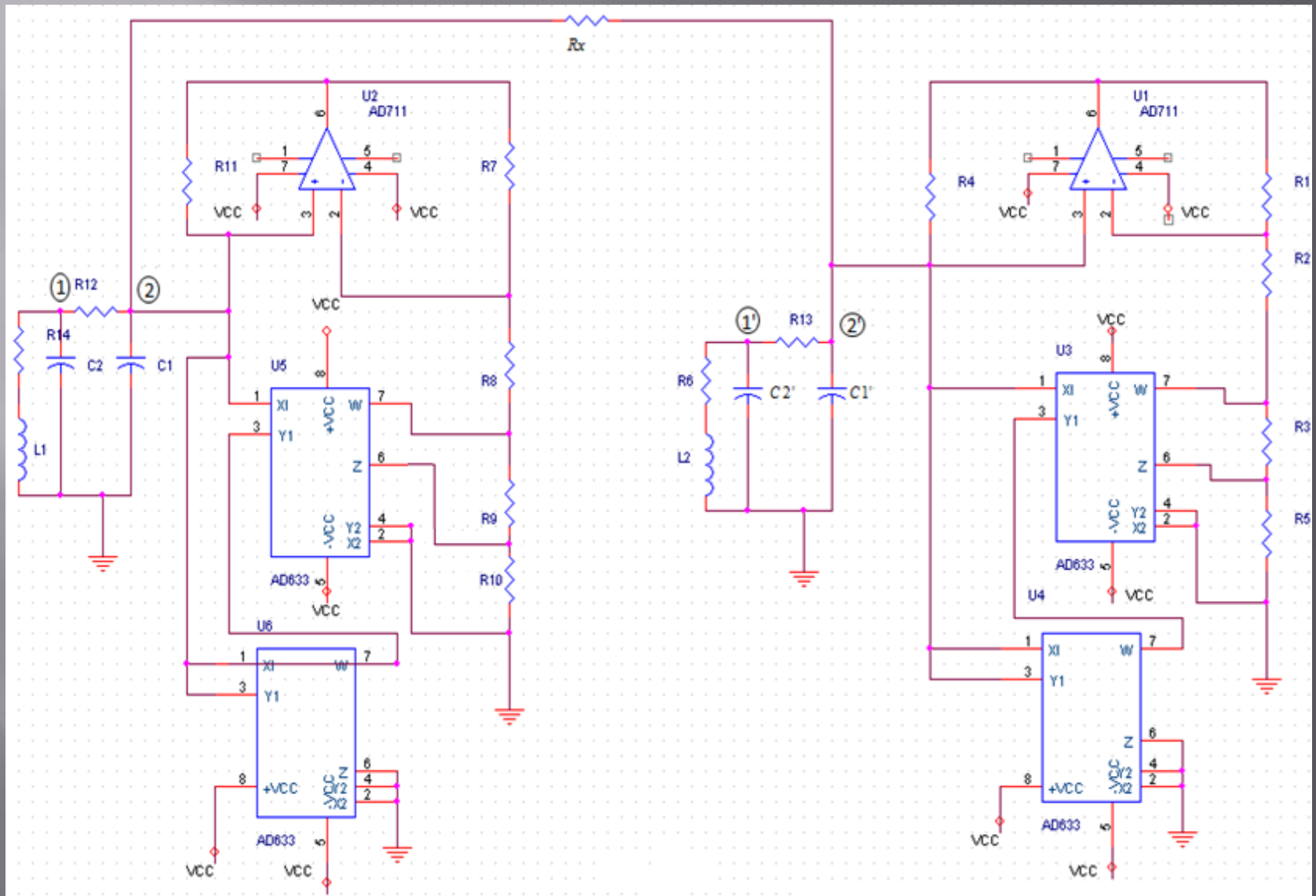
$C_2=95.4\text{nF}$



$C_2=100.9\text{nF}$



Αμφίδρομη Σύζευξη από τον Κόμβο (2)



Το Σύστημα Εξισώσεων του Κυκλώματος

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(-V_{C2} - i_L R_0)$$

$$\frac{dV_{C2}}{dt} = \frac{1}{C_2} i_L - \frac{1}{RC_2} (V_{C2} - V_{C1})$$

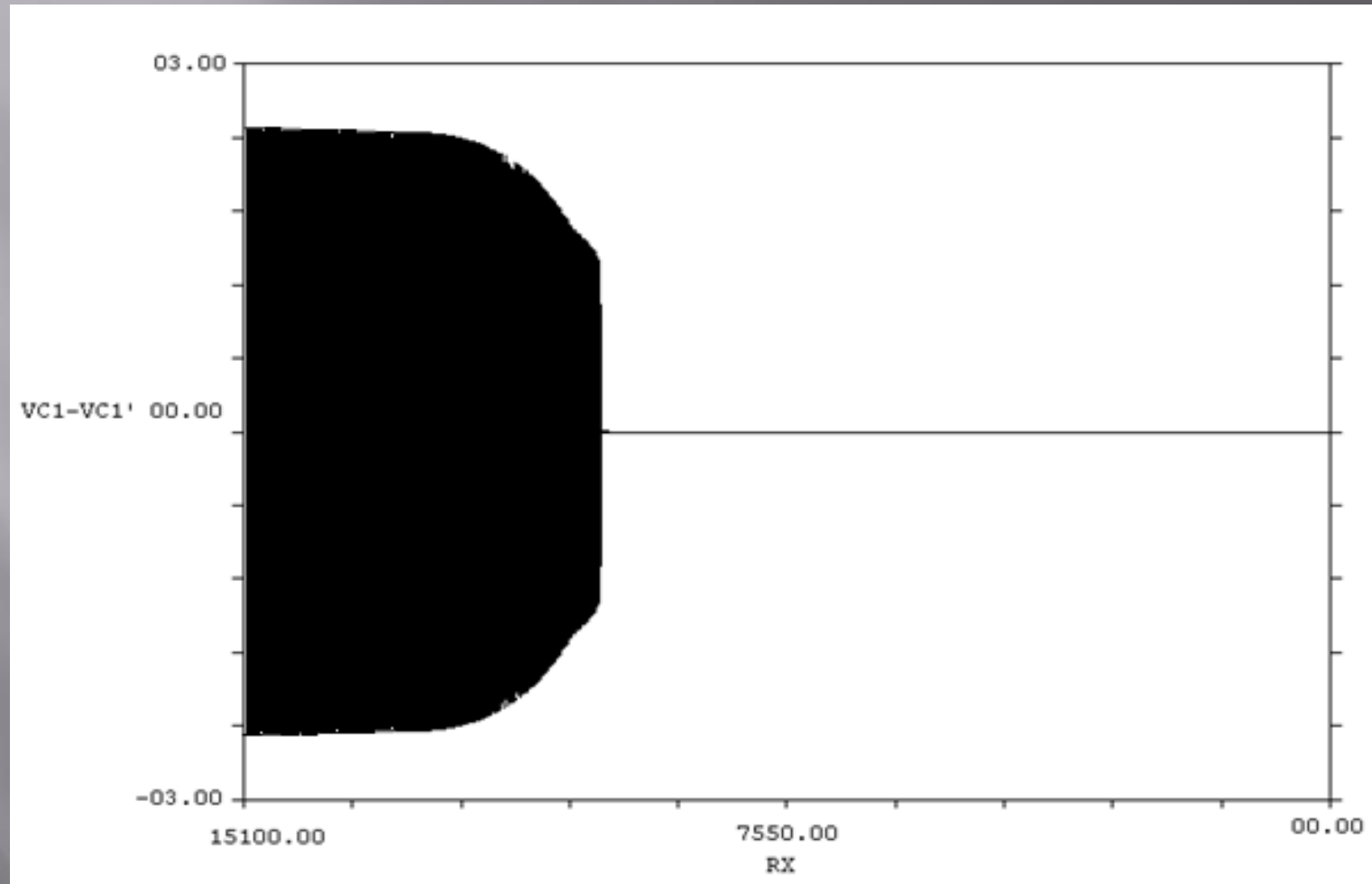
$$\frac{dV_{C1}}{dt} = \frac{1}{RC_1} (V_{C2} - V_{C1}) - \frac{1}{C_1} i_N - \frac{1}{R_x C_1} (V_{C1} - V_{C1}')$$

$$\frac{di_L'}{dt} = \frac{1}{L}(-V_{C2}' - i_L' R_0)$$

$$\frac{dV_{C2}'}{dt} = \frac{1}{C_2} i_L' - \frac{1}{RC_2} (V_{C2}' - V_{C1}')$$

$$\frac{dV_{C1}'}{dt} = \frac{1}{RC_1} (V_{C2}' - V_{C1}') - \frac{1}{C_1} i_N' - \frac{1}{R_x C_1} (V_{C1}' - V_{C1})$$

Διάγραμμα της διαφοράς $V_{C1}-V_{C1'}$ με την R_x για $C_2=100.7\text{nF}$

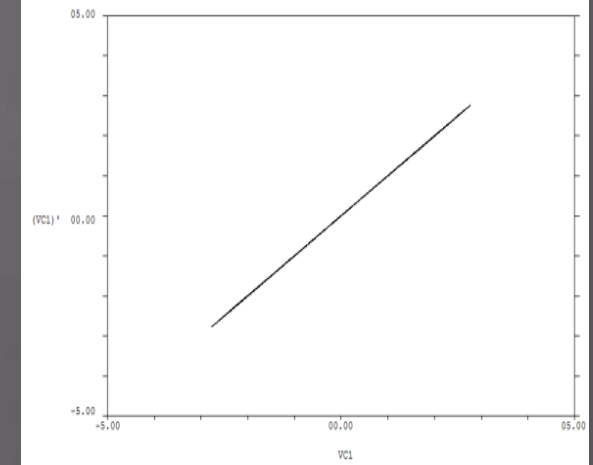
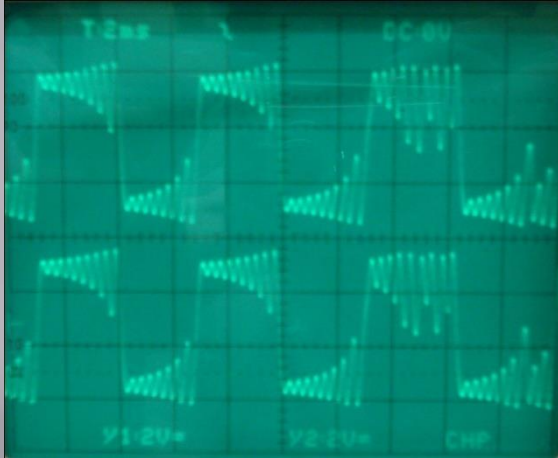


Συγχρονισμός: $R_x < 10.1\text{K}\Omega$

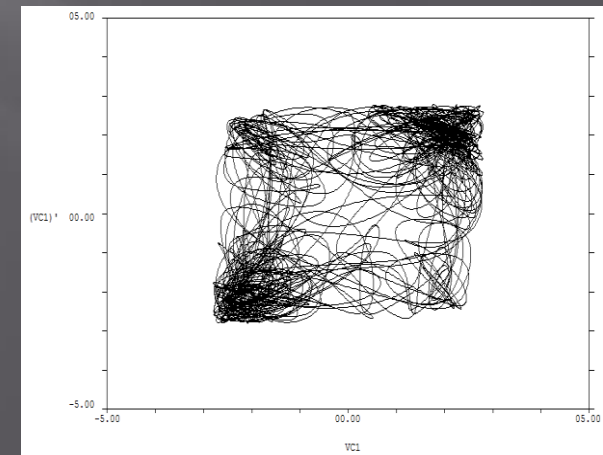
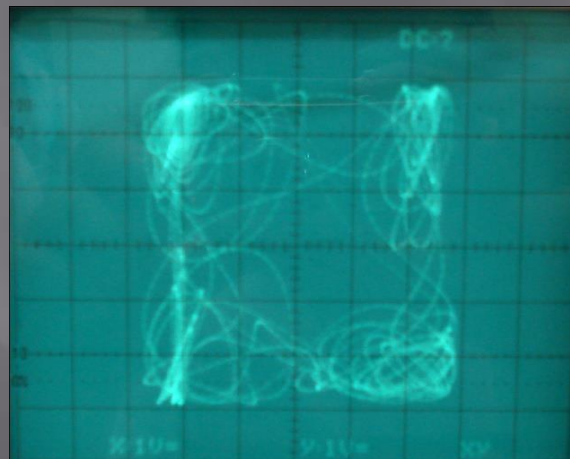
Μη Συγχρονισμός: $R_x > 10.1\text{K}\Omega$

Φασικές Απεικονίσεις και Χρονοσειρές των Σημάτων VC1 με VC1'

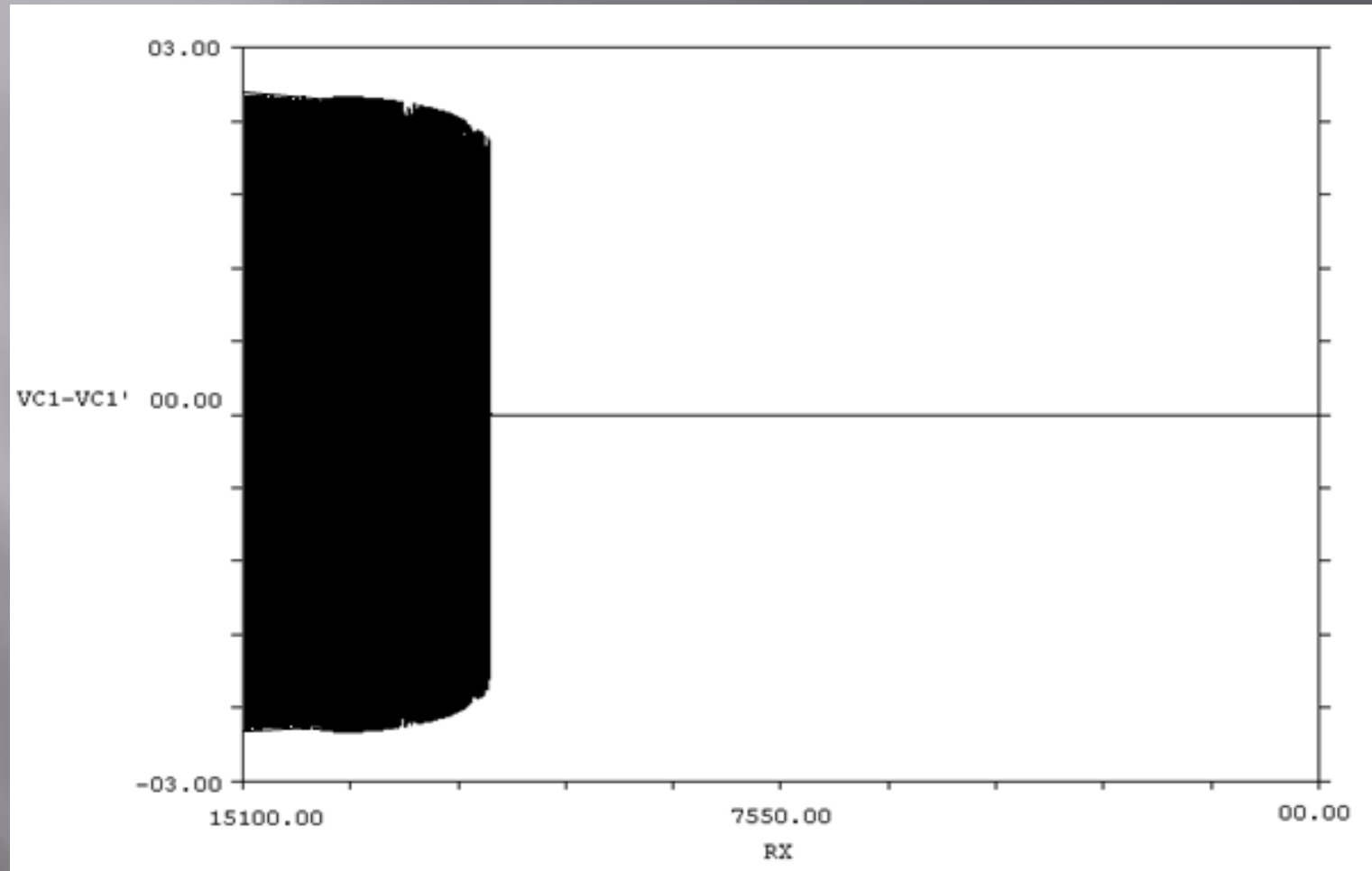
$R_x=9.9K\Omega$



$R_x=14.5K\Omega$



Διάγραμμα της διαφοράς $V_{C1}-V_{C1'}$ με την R_x για $C_2=153.7\text{nF}$

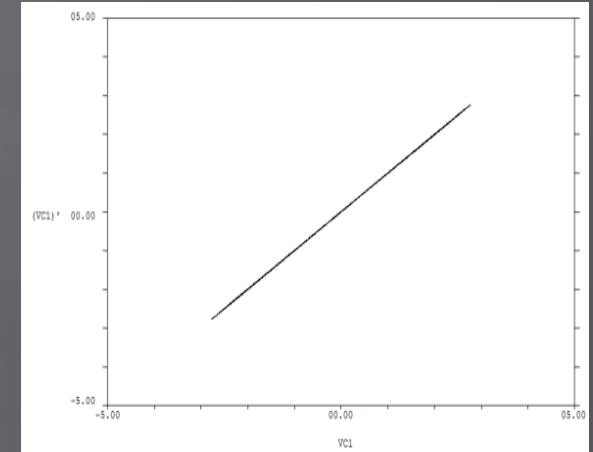
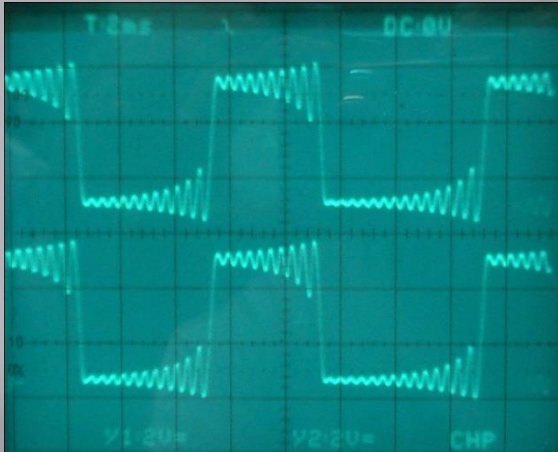


Συγχρονισμός: $R_x < 11.93\text{K}\Omega$

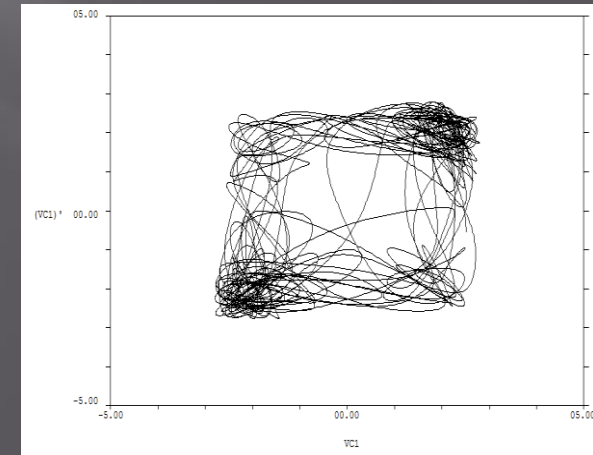
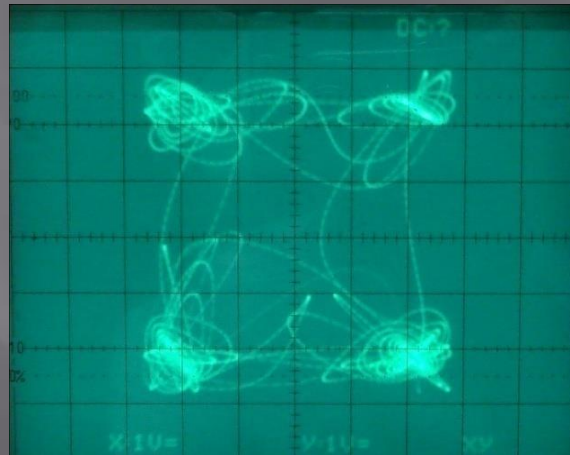
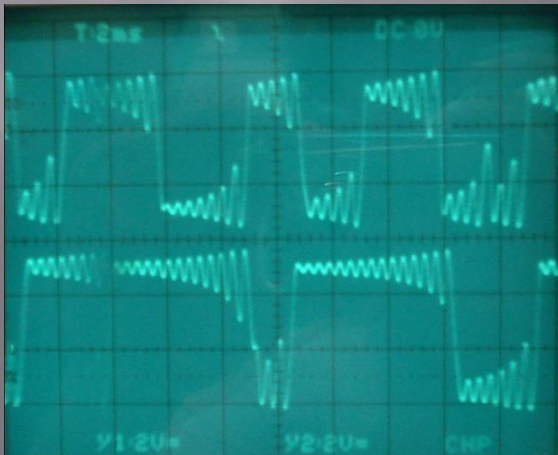
Μη Συγχρονισμός: $R_x > 11.93\text{K}\Omega$

Φασικές Απεικονίσεις και Χρονοσειρές των Σημάτων VC1 με VC1'

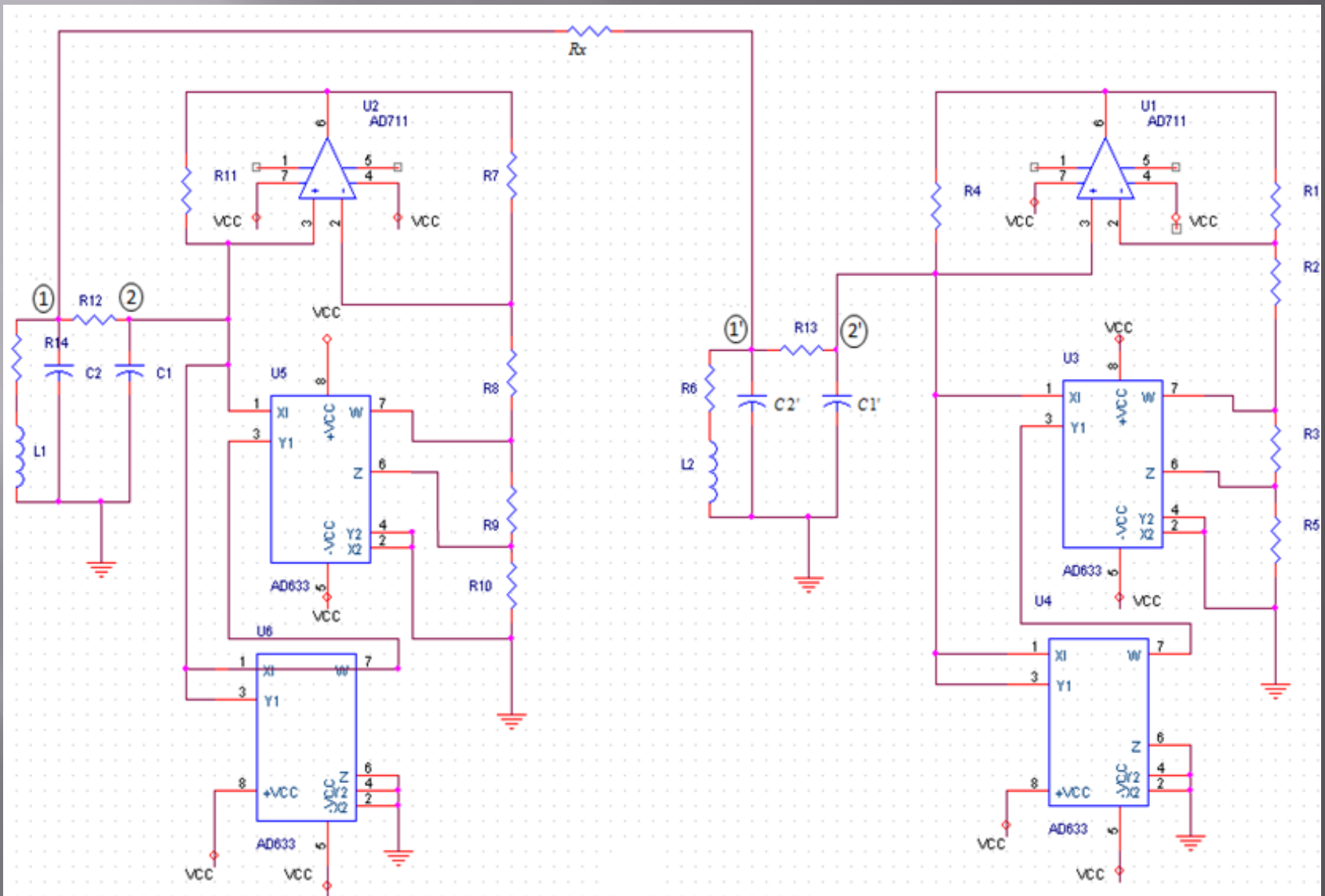
$R_x=11.1K\Omega$



$R_x=14.5K\Omega$



Αμφίδρομη Σύζευξη από τον Κόμβο (1)



Το Σύστημα Εξισώσεων του Κυκλώματος

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} (-V_{C2} - i_L R_0)$$

$$\frac{dV_{C2}}{dt} = \frac{1}{C_2} i_L - \frac{1}{RC_2} (V_{C2} - V_{C1}) - \frac{1}{R_x C_2} (V_{C2} - V_{C2}')$$

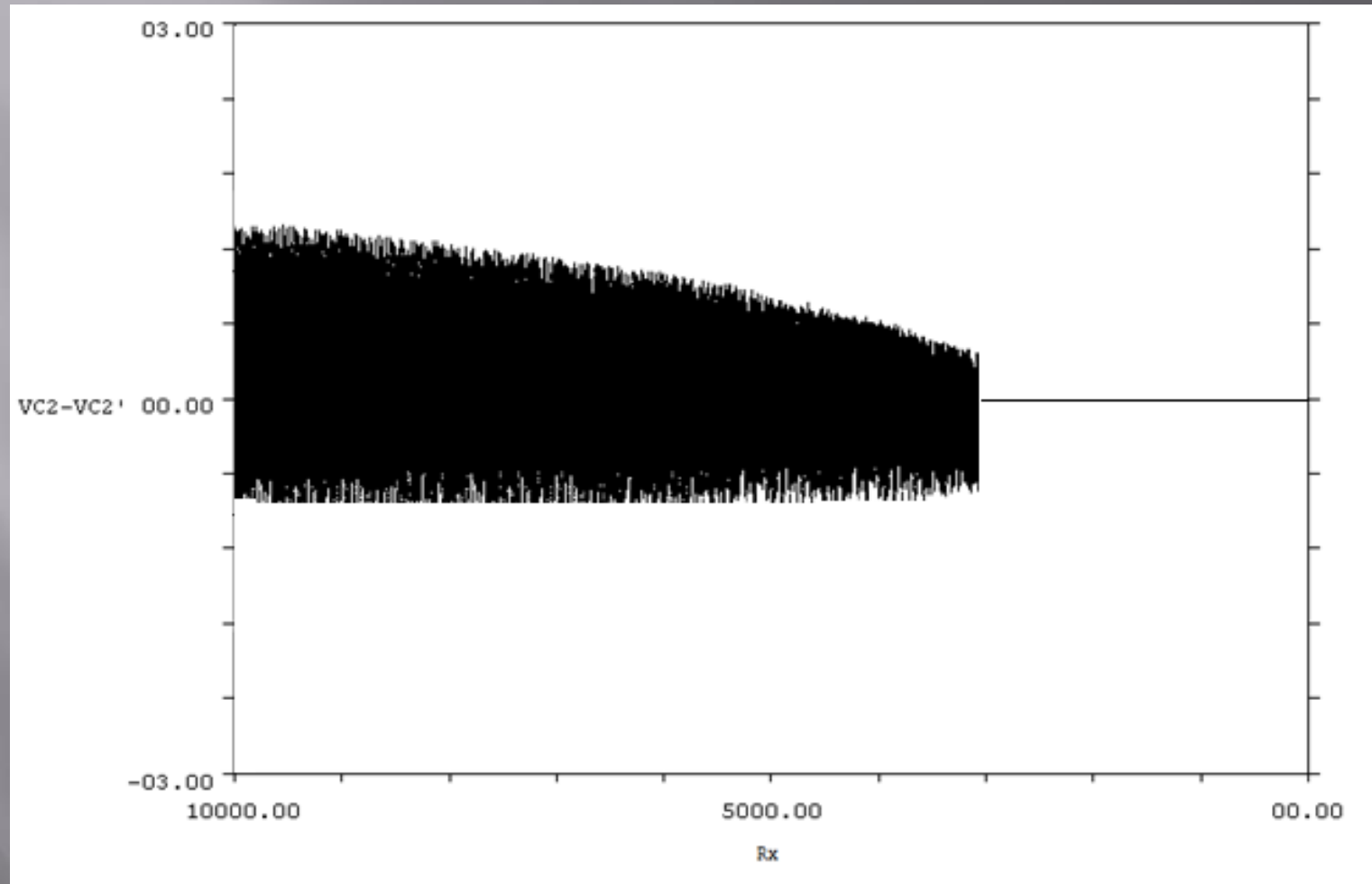
$$\frac{dV_{C1}}{dt} = \frac{1}{RC_1} (V_{C2} - V_{C1}) - \frac{1}{C_1} i_N$$

$$\frac{di_L'}{dt} = \frac{1}{L} (-V_{C2}' - i_L' R_0)$$

$$\frac{dV_{C2}'}{dt} = \frac{1}{C_2} i_L' - \frac{1}{RC_2} (V_{C2}' - V_{C1}') - \frac{1}{R_x C_2} (V_{C2}' - V_{C2})$$

$$\frac{dV_{C1}'}{dt} = \frac{1}{RC_1} (V_{C2}' - V_{C1}') - \frac{1}{C_1} i_N'$$

Διάγραμμα της διαφοράς $V_{C2}-V_{C2'}$ με την R_x για $C_2=100.7\text{nF}$

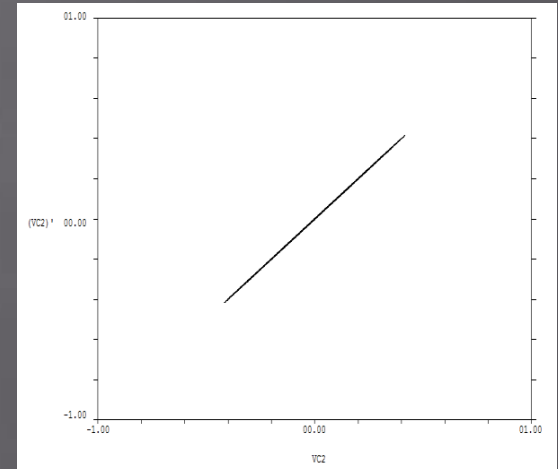
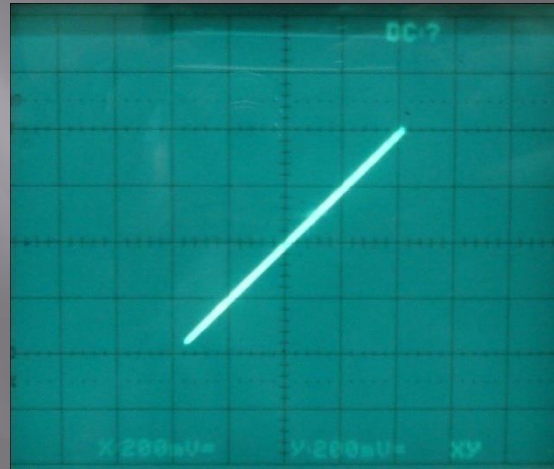
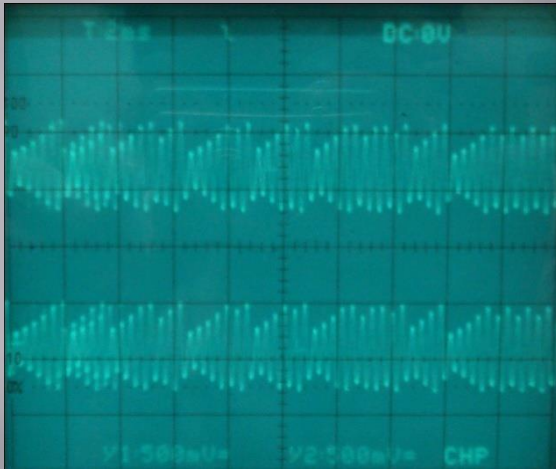


Συγχρονισμός: $R_x < 3.1\text{K}\Omega$

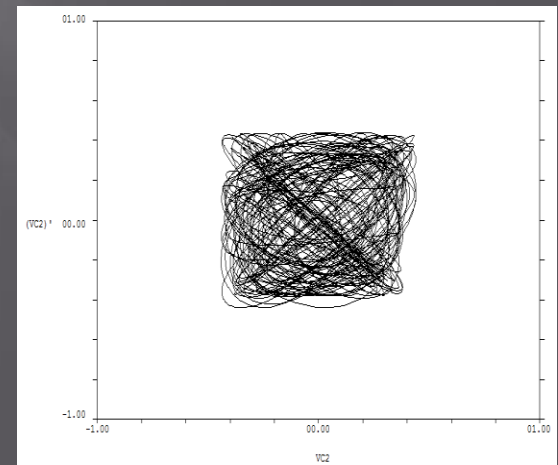
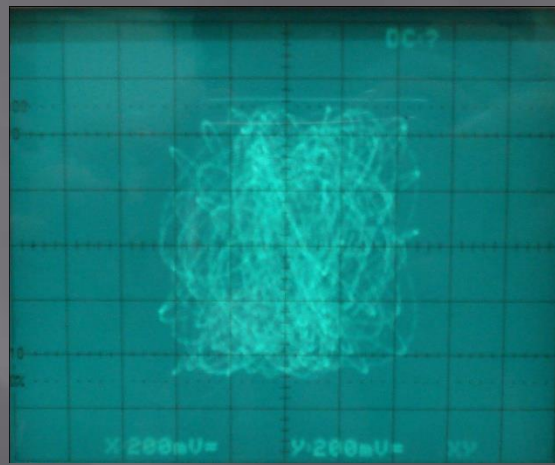
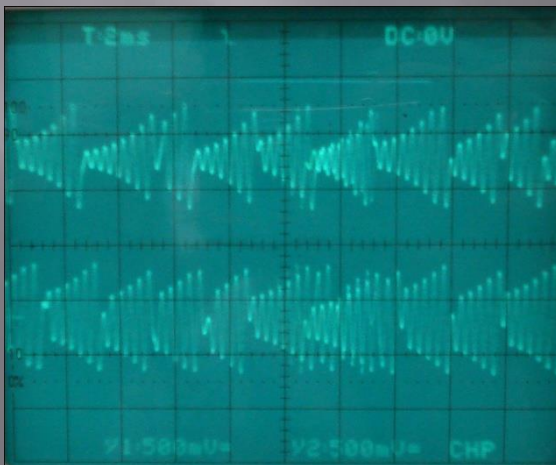
Μη Συγχρονισμός: $R_x > 3.1\text{K}\Omega$

Φασικές Απεικονίσεις και Χρονοσειρές των Σημάτων για VC2 με VC2'

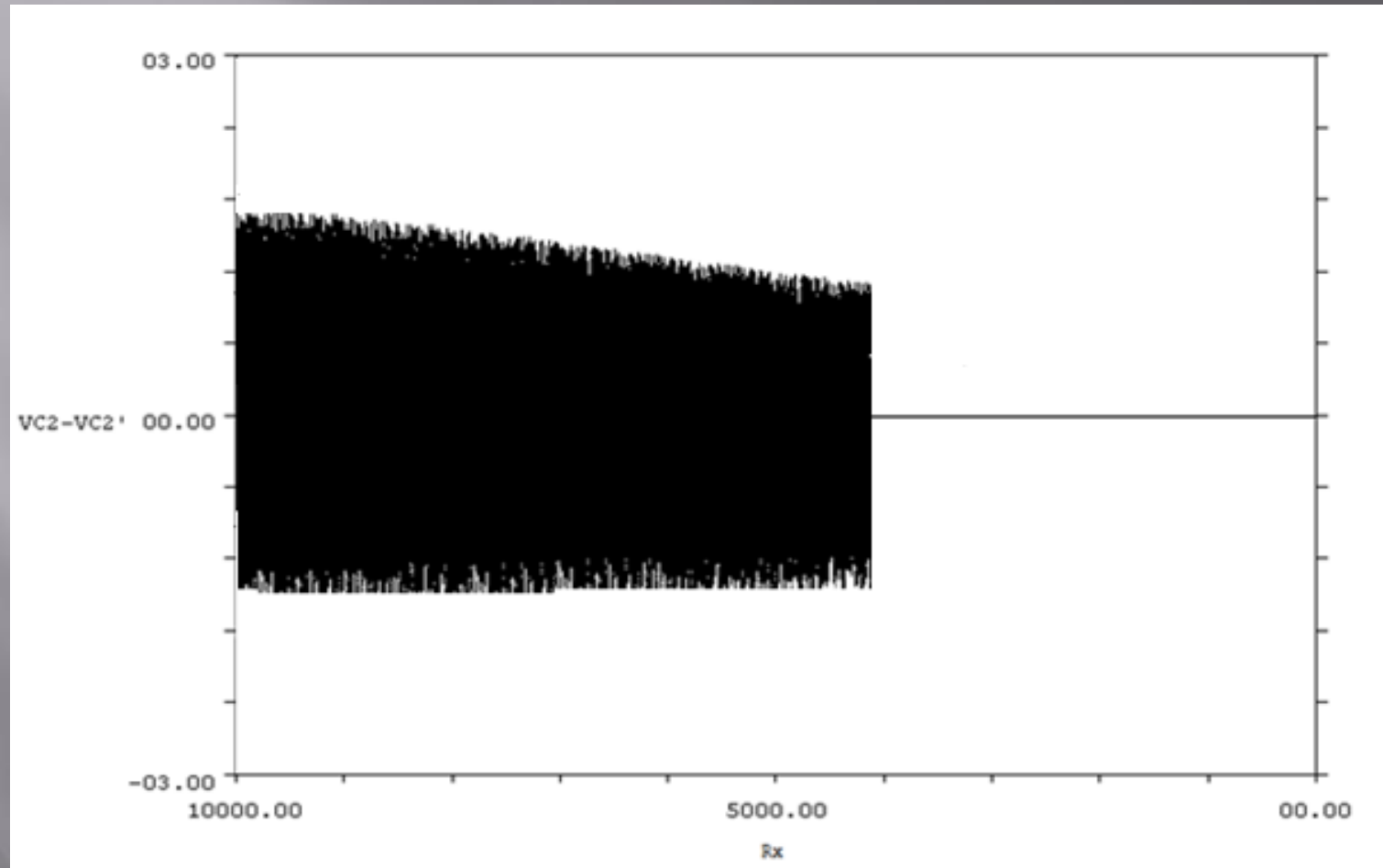
$R_x=2.76K\Omega$



$R_x=9.8K\Omega$



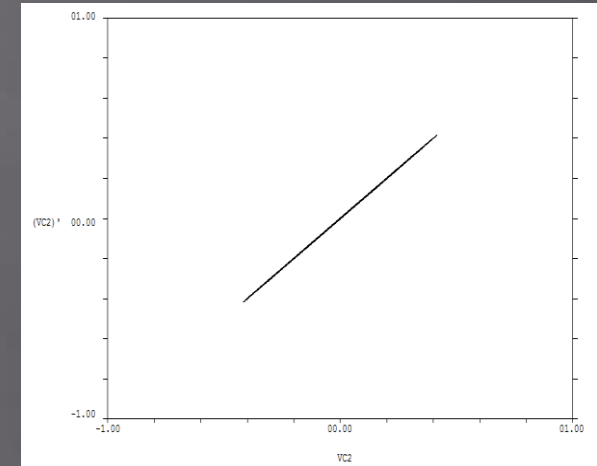
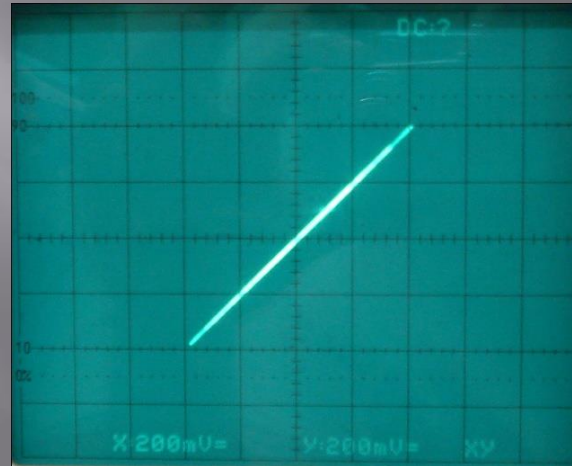
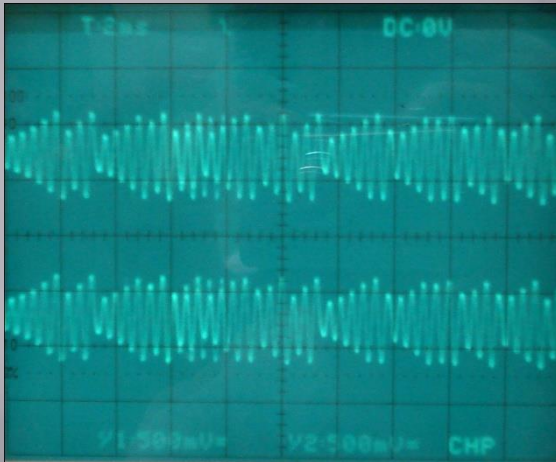
Διάγραμμα της διαφοράς $V_{C2}-V_{C2'}$ με την R_x για $C_2=153.7\text{nF}$



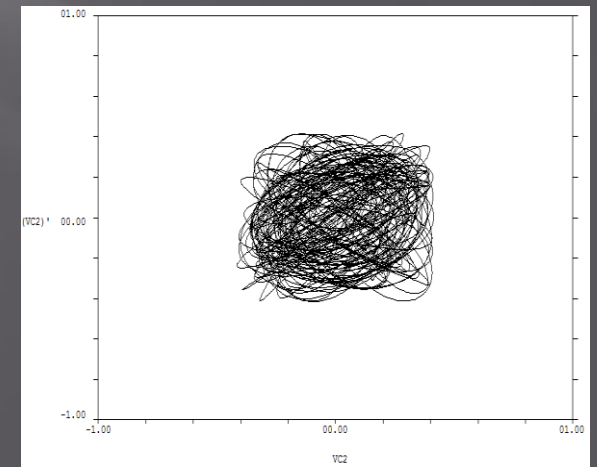
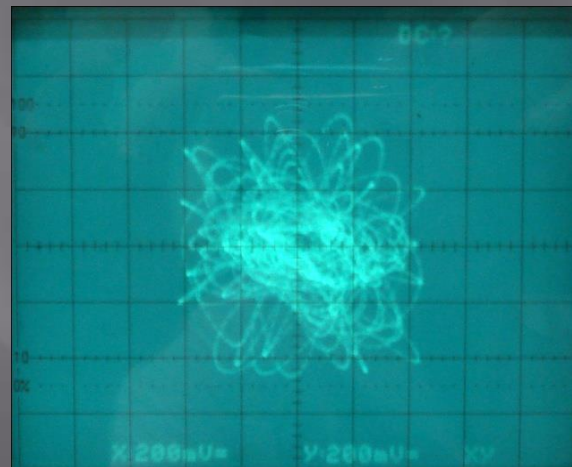
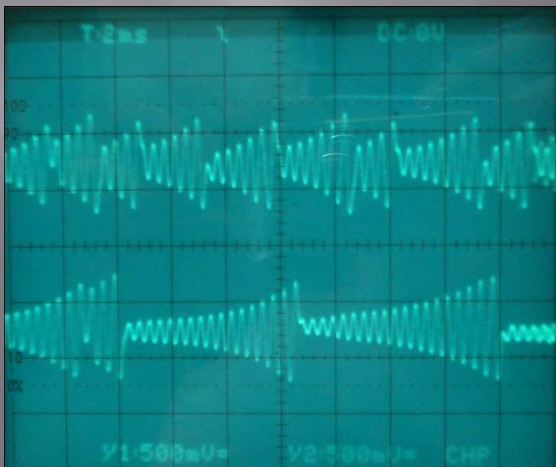
Συγχρονισμός: $R_x < 4.21\text{K}\Omega$
Μη Συγχρονισμός: $R_x > 4.21\text{K}\Omega$

Φασικές Απεικονίσεις και Χρονοσειρές των Σημάτων για VC2 με VC2'

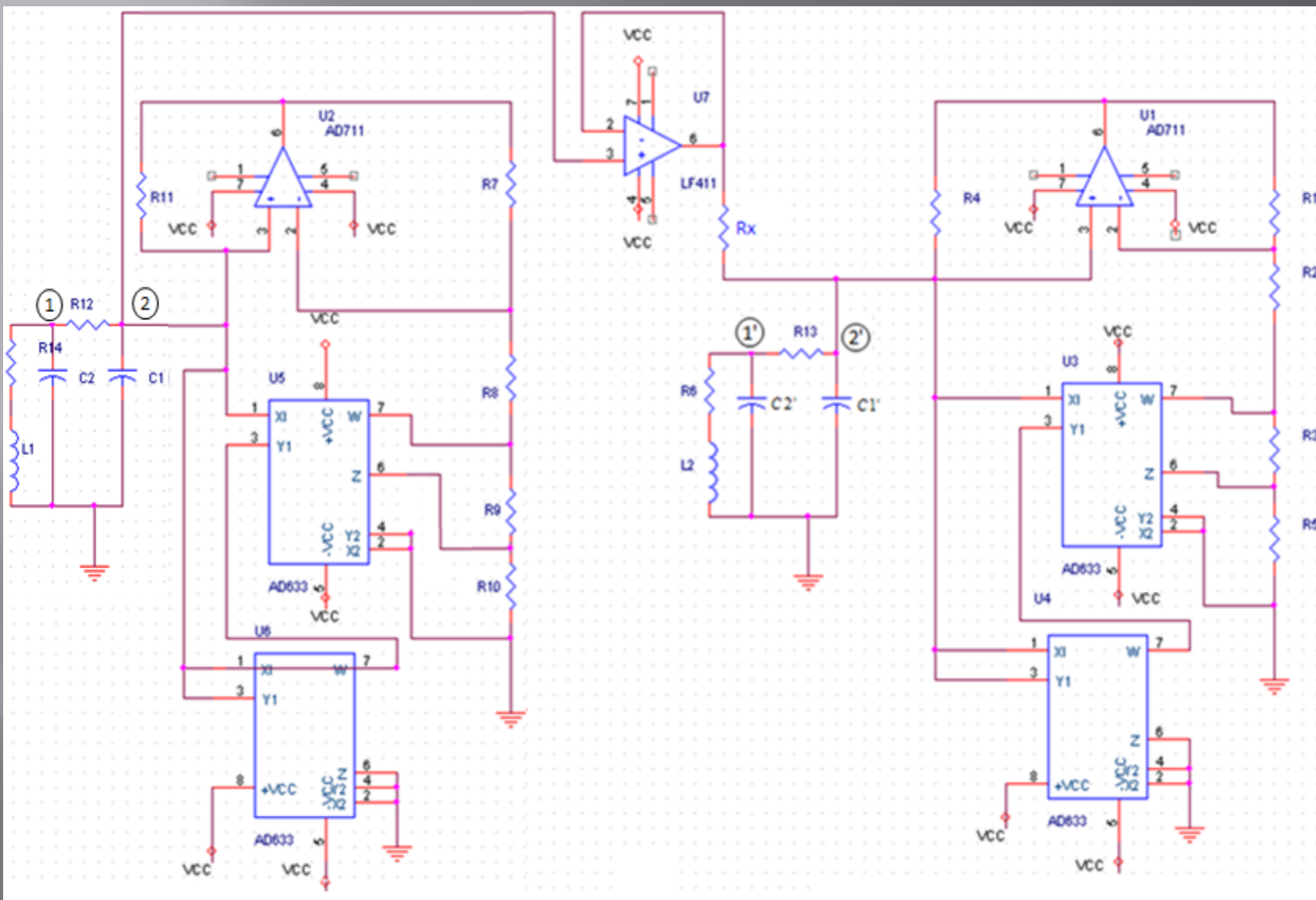
$R_x=3.84K\Omega$



$R_x=9.8K\Omega$



Μονόδρομη Σήζευση από τον Κόμβο (2)



Το σύστημα εξισώσεων του κυκλώματος

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(-V_{C2} - i_L R_0)$$

$$\frac{dV_{C2}}{dt} = \frac{1}{C_2} i_L - \frac{1}{RC_2} (V_{C2} - V_{C1})$$

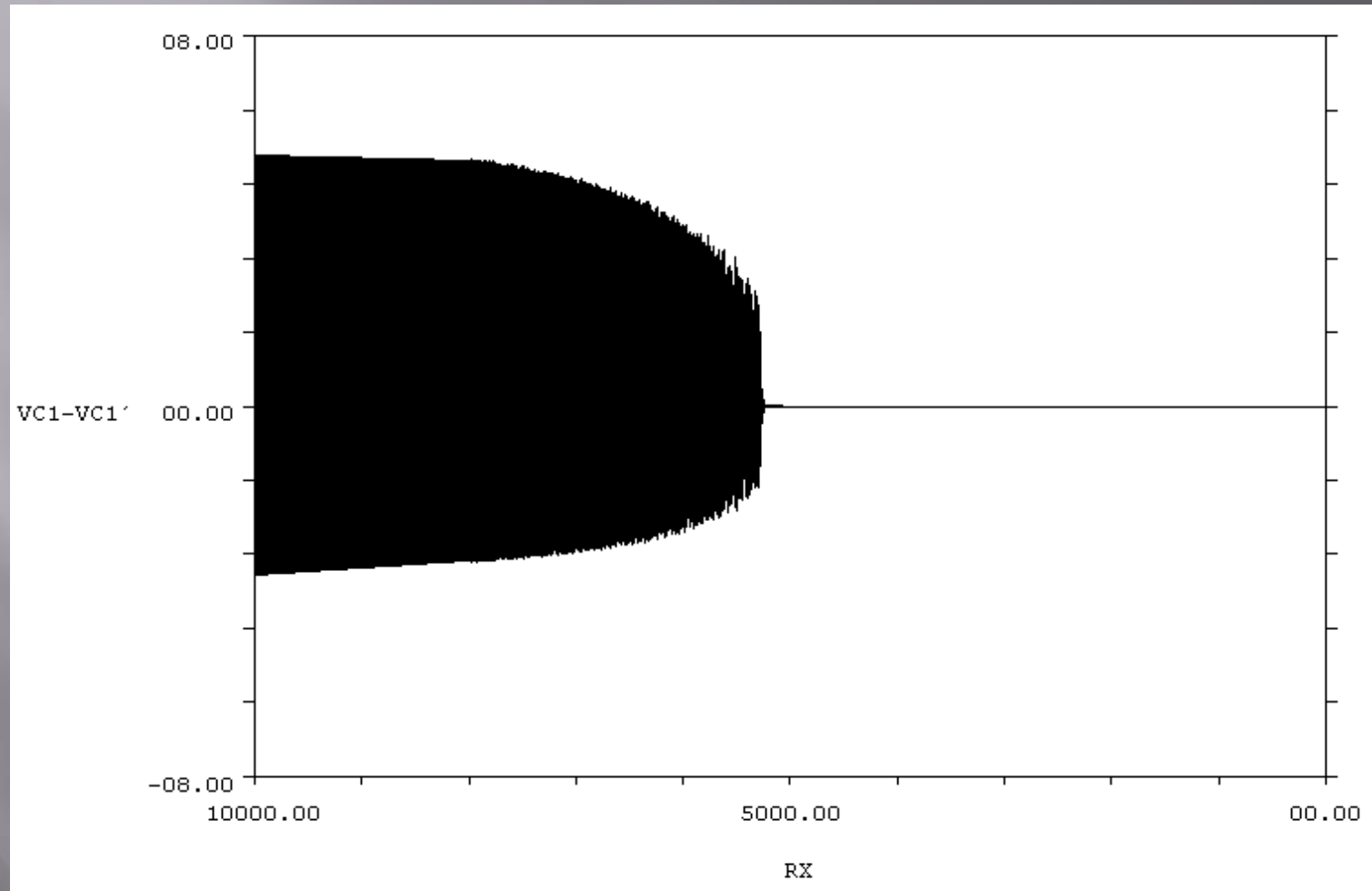
$$\frac{dV_{C1}}{dt} = \frac{1}{RC_1} (V_{C2} - V_{C1}) - \frac{1}{C_1} i_N$$

$$\frac{di_L'}{dt} = \frac{1}{L}(-V_{C2}' - i_L' R_0)$$

$$\frac{dV_{C2}'}{dt} = \frac{1}{C_2} i_L' - \frac{1}{RC_2} (V_{C2}' - V_{C1}')$$

$$\frac{dV_{C1}'}{dt} = \frac{1}{RC_1} (V_{C2}' - V_{C1}') - \frac{1}{C_1} i_N' - \frac{1}{R_x C_1} (V_{C1}' - V_{C1})$$

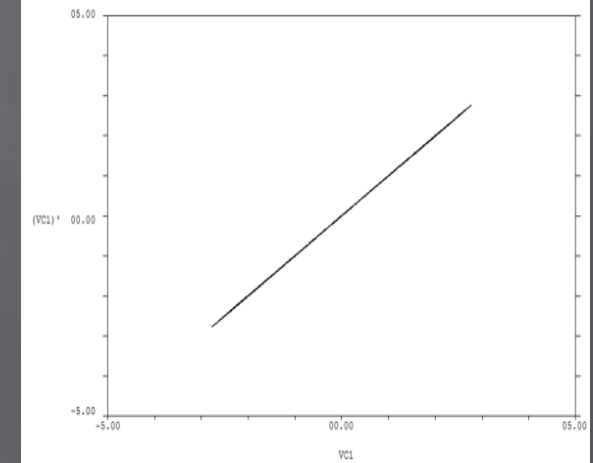
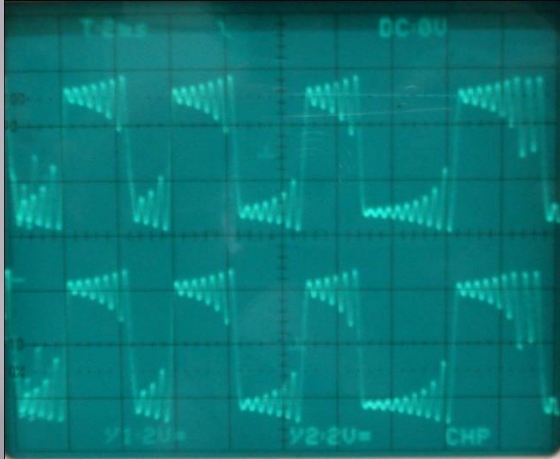
Διάγραμμα της διαφοράς $V_{C1}-V_{C1'}$ με την R_x για $C_2=100.7\text{nF}$



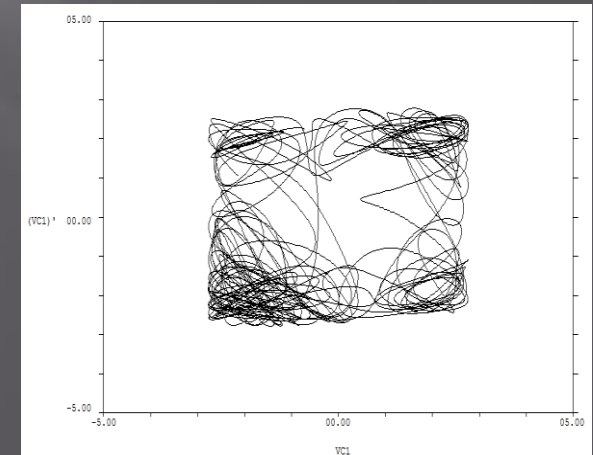
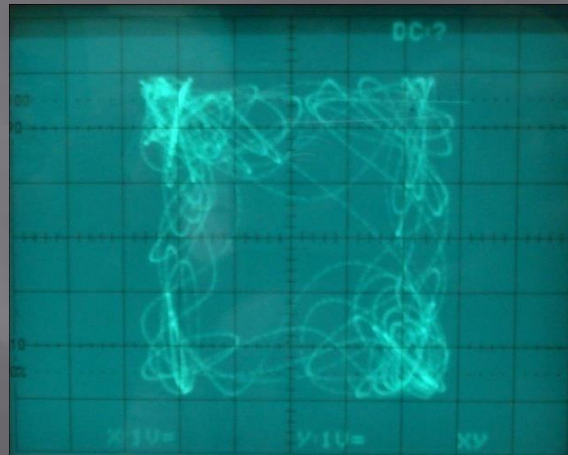
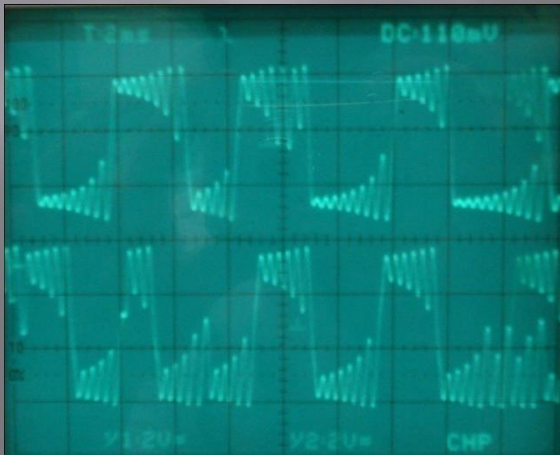
Συγχρονισμός: $R_x < 5.23\text{K}\Omega$
Μη Συγχρονισμός: $R_x > 5.23\text{K}\Omega$

Φασικές Απεικονίσεις και Χρονοσειρές των Σημάτων για VC1 με VC1'

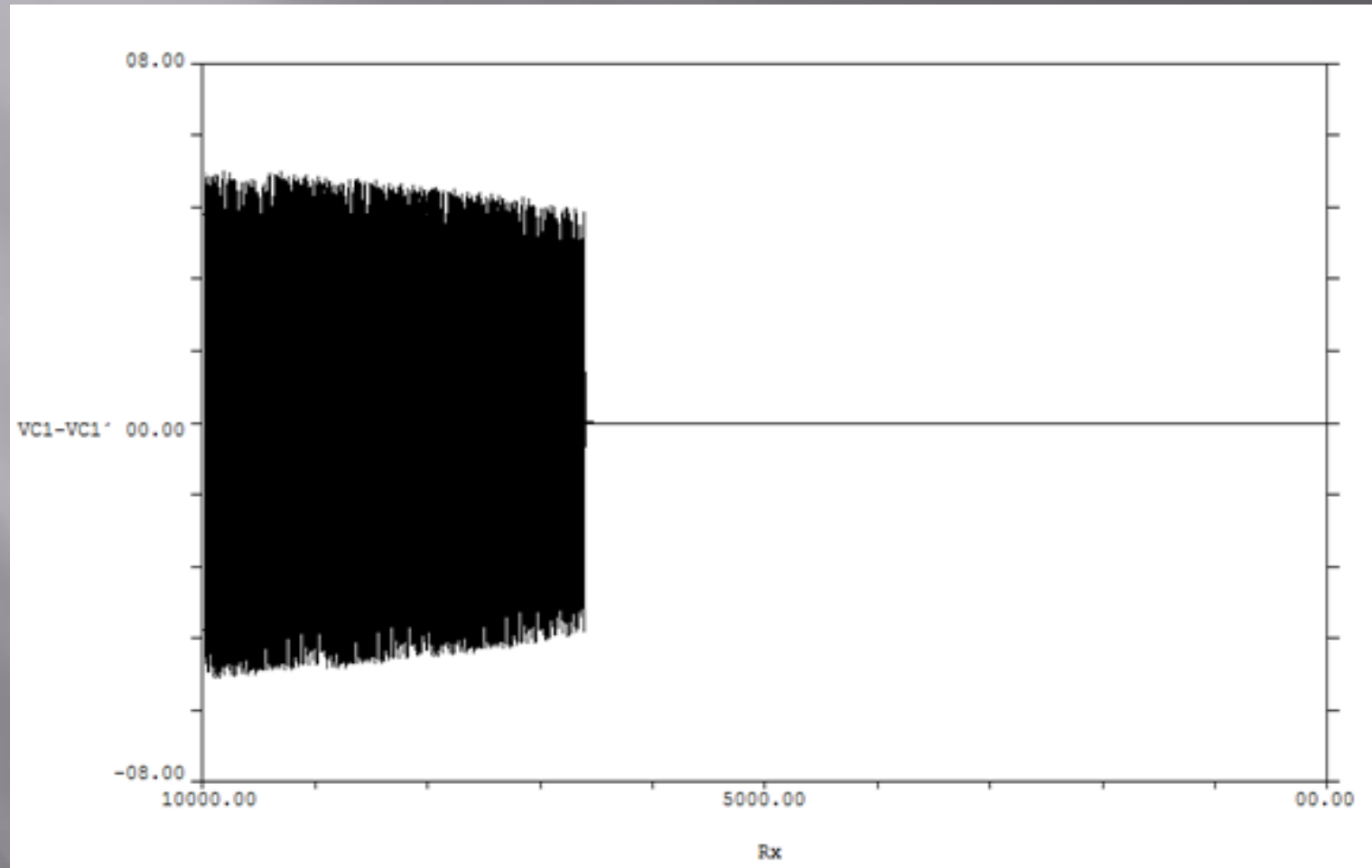
$R_x=4.8K\Omega$



$R_x=9.8K\Omega$



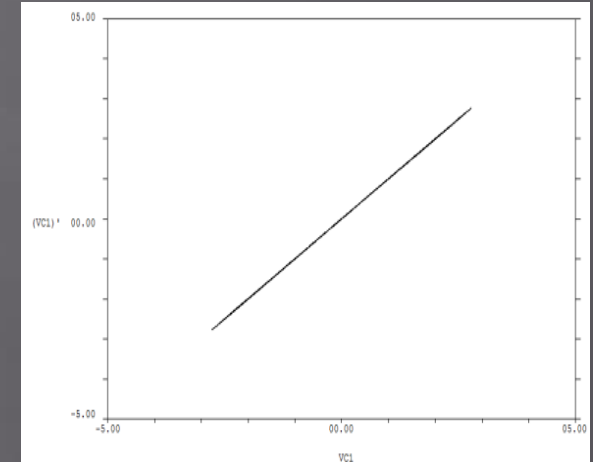
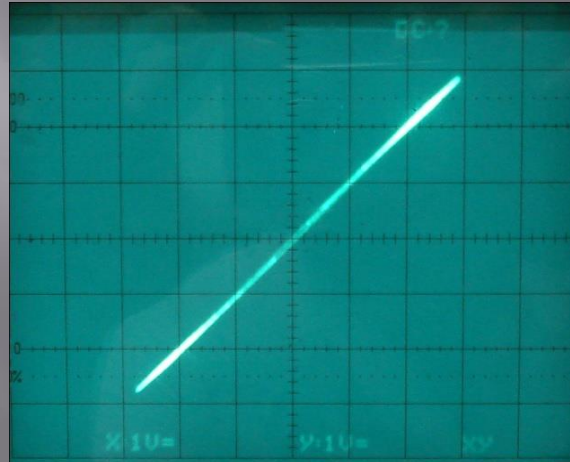
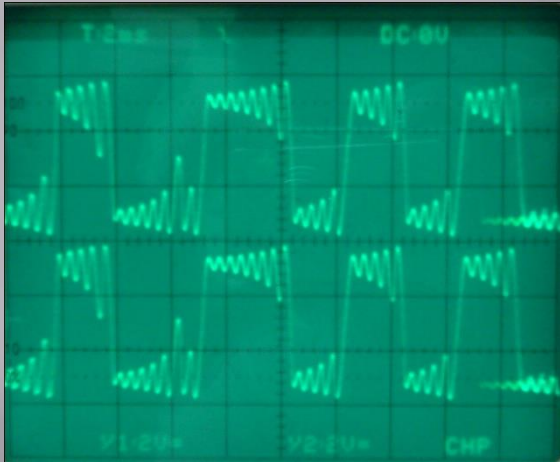
Διάγραμμα της διαφοράς $V_{C1}-V_{C1'}$ με την R_x για $C_2=153.7\text{nF}$



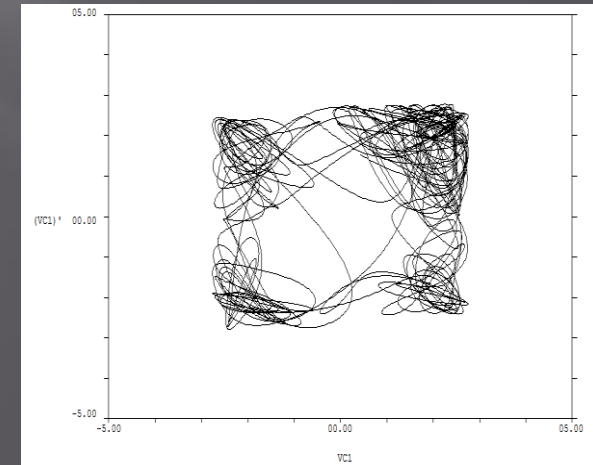
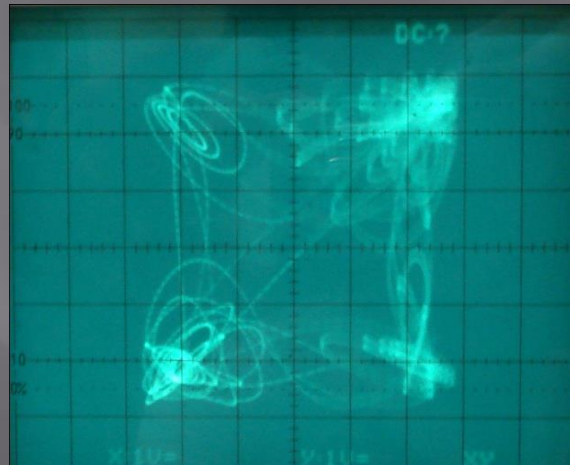
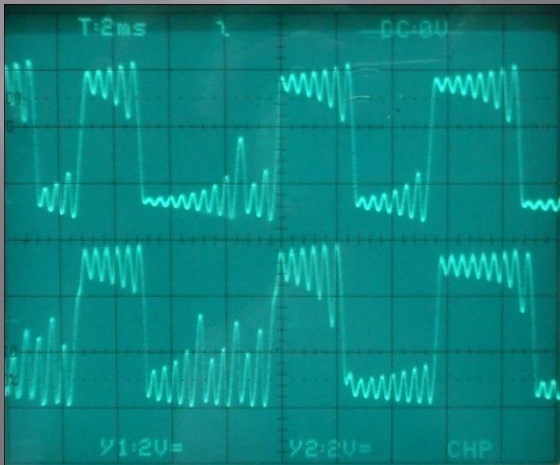
Συγχρονισμός: $R_x < 6.65 \text{ K}\Omega$
Μη Συγχρονισμός: $R_x > 6.65 \text{ K}\Omega$

Φασικές Απεικονίσεις και Χρονοσειρές των Σημάτων για VC1 με VC1'

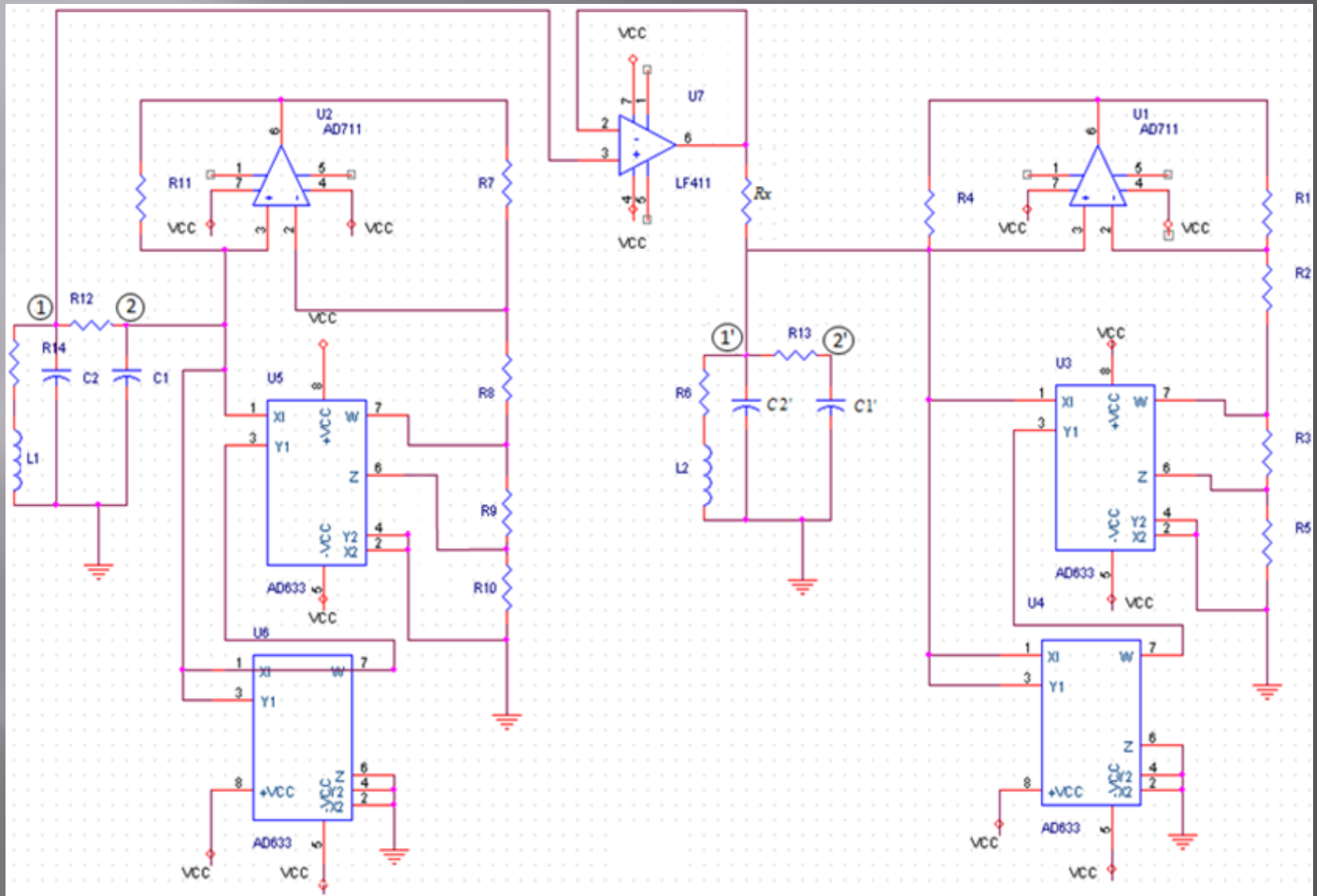
$R_x=6K\Omega$



$R_x=9.8K\Omega$



Μονόδρομη Σύζευξη από τον Κόμβο (1)



Το Σύστημα Εξισώσεων του Κυκλώματος

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} (-V_{C2} - i_L R_0)$$

$$\frac{dV_{C2}}{dt} = \frac{1}{C_2} i_L - \frac{1}{RC_2} (V_{C2} - V_{C1})$$

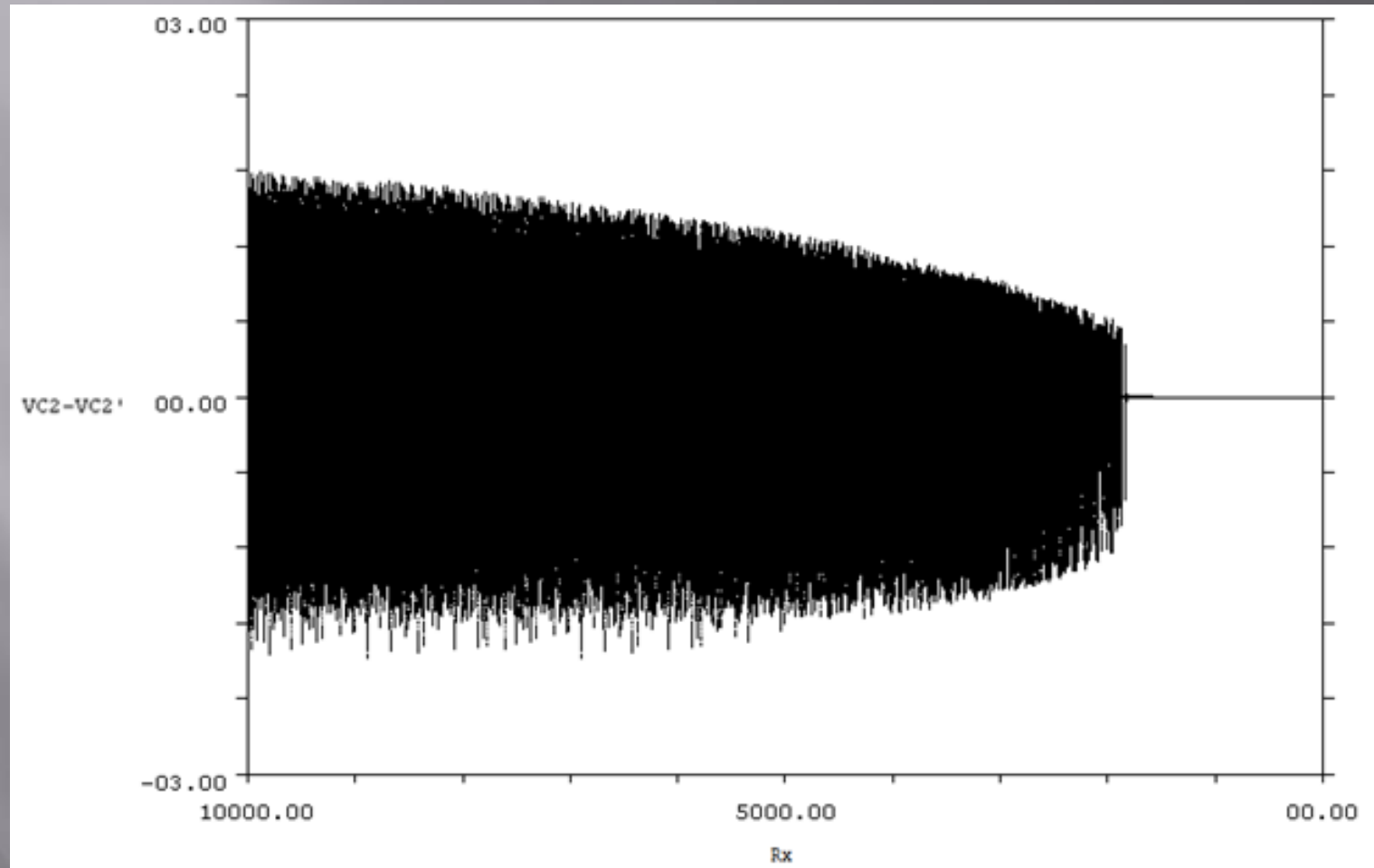
$$\frac{dV_{C1}}{dt} = \frac{1}{RC_1} (V_{C2} - V_{C1}) - \frac{1}{C_1} i_N$$

$$\frac{di_L'}{dt} = \frac{1}{L} (-V_{C2}' - i_L' R_0)$$

$$\frac{dV_{C2}'}{dt} = \frac{1}{C_2} i_L' - \frac{1}{RC_2} (V_{C2}' - V_{C1}') - \frac{1}{R_x C_2} (V_{C2} - V_{C2}')$$

$$\frac{dV_{C1}'}{dt} = \frac{1}{RC_1} (V_{C2}' - V_{C1}') - \frac{1}{C_1} i_N'$$

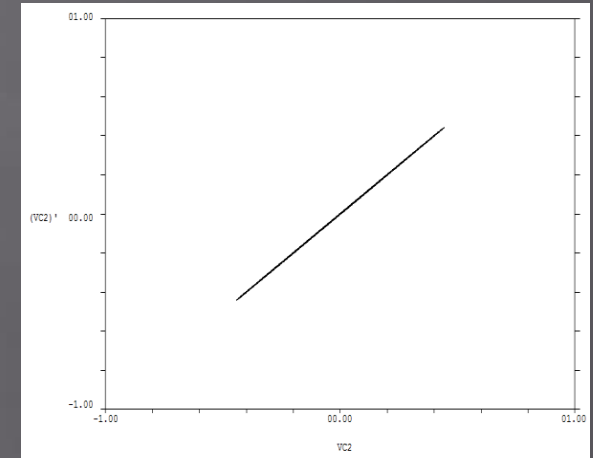
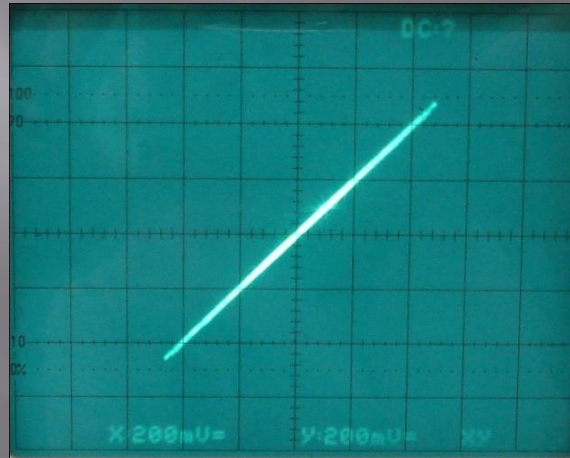
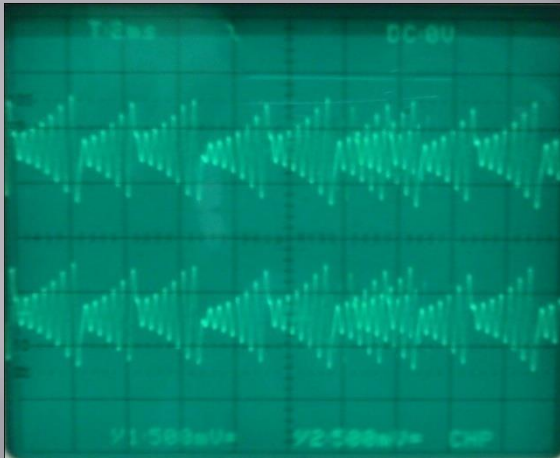
Διάγραμμα της διαφοράς $V_{C2}-V_{C2'}$ με την R_x για $C_2=100.7\text{nF}$



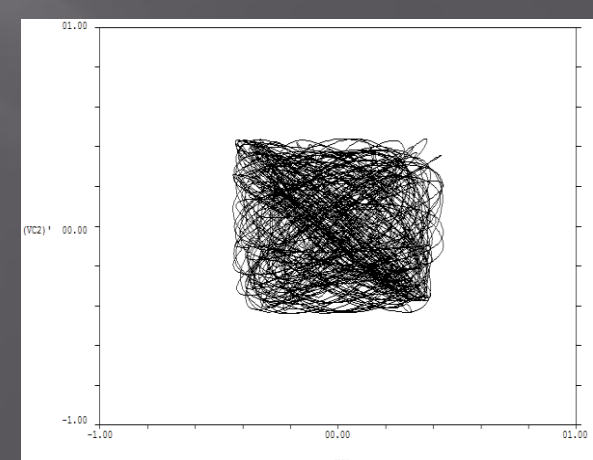
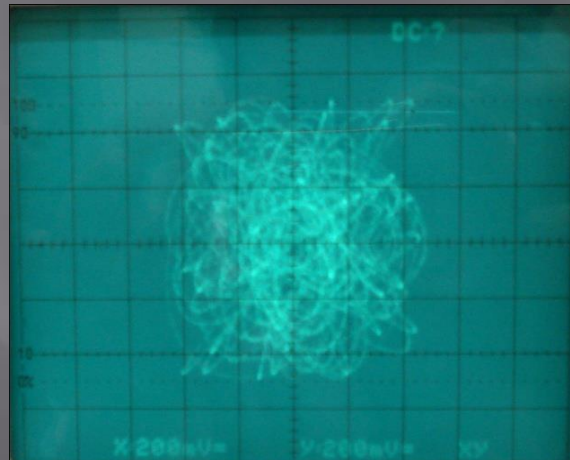
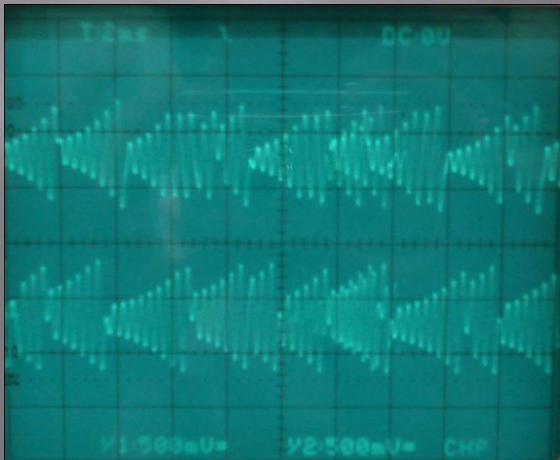
Συγχρονισμός: $R_x < 1.9\text{K}\Omega$
Μη Συγχρονισμός: $R_x > 1.9\text{K}\Omega$

Φασικές Απεικονίσεις και Χρονοσειρές των Σημάτων για VC2 με VC2'

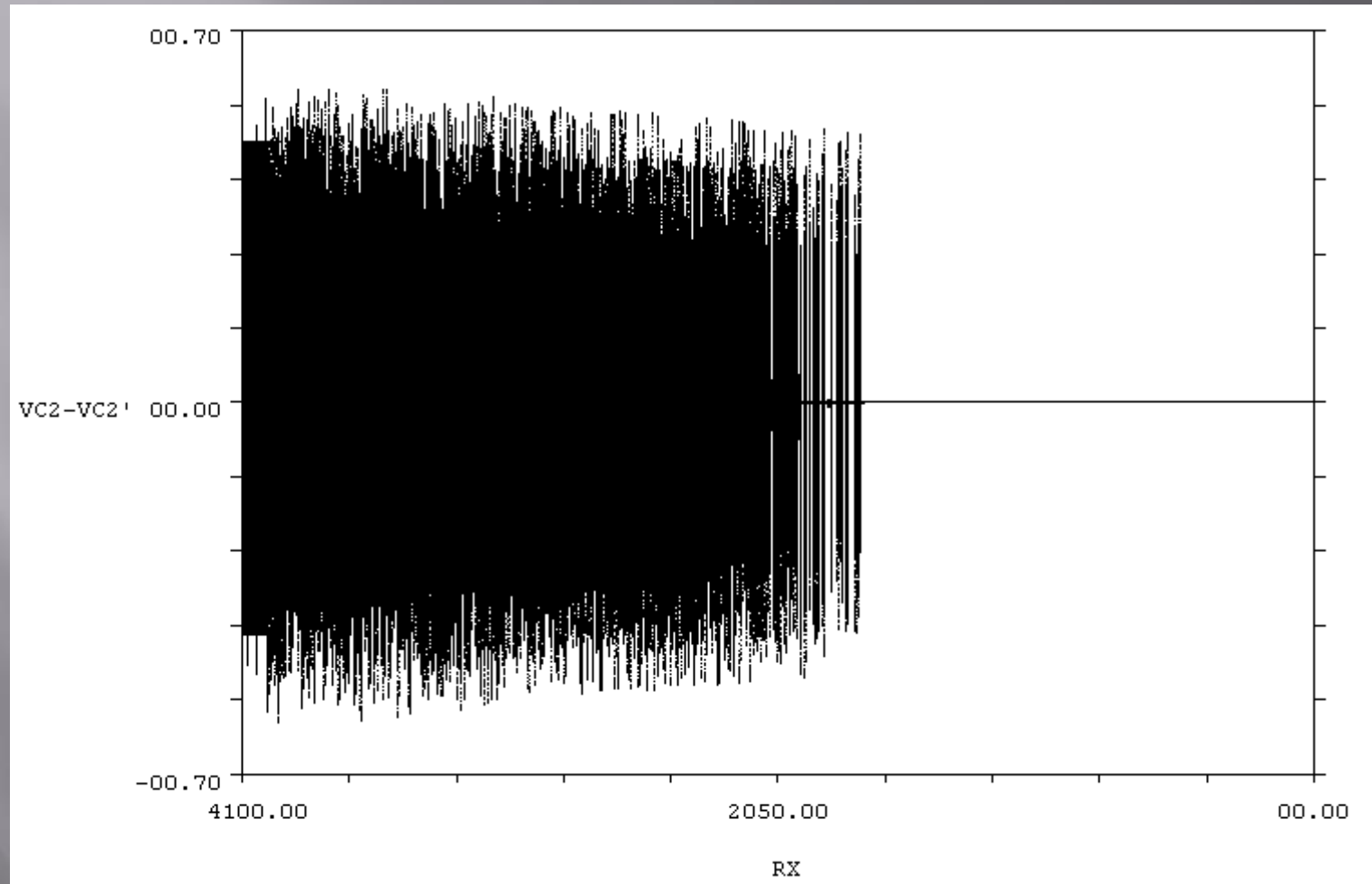
$R_x=1.45K\Omega$



$R_x=9.8K\Omega$



Διάγραμμα της διαφοράς $VC2-VC2'$ με την R_x για $C2=153.7nF$

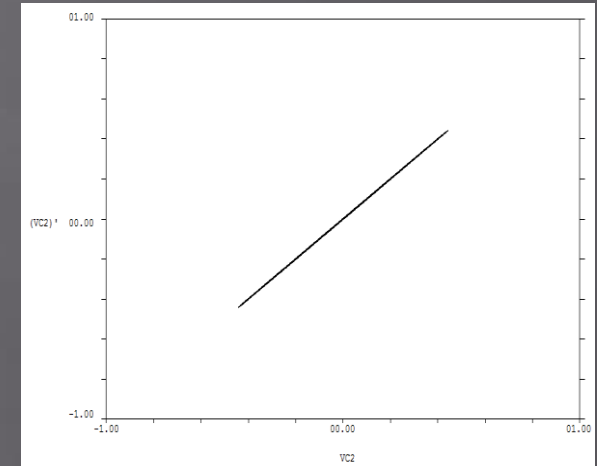
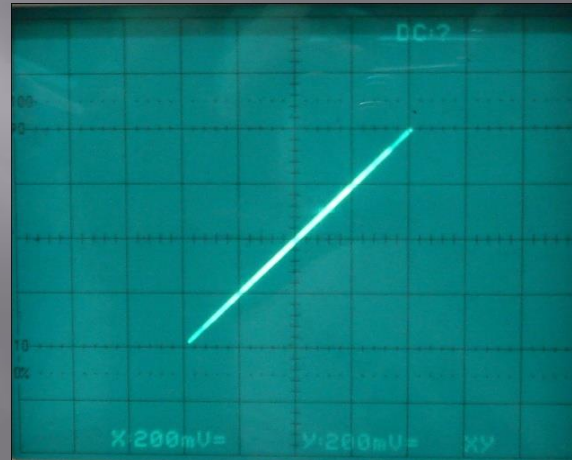
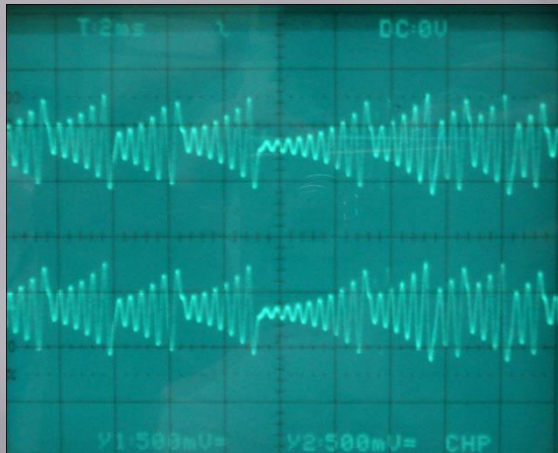


Συγχρονισμός: $R_x < 1.67K\Omega$

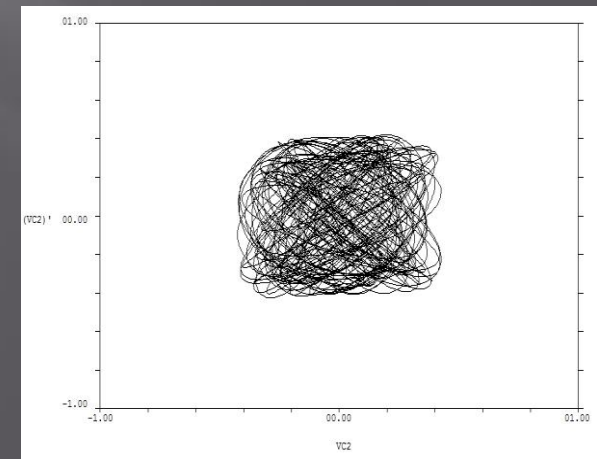
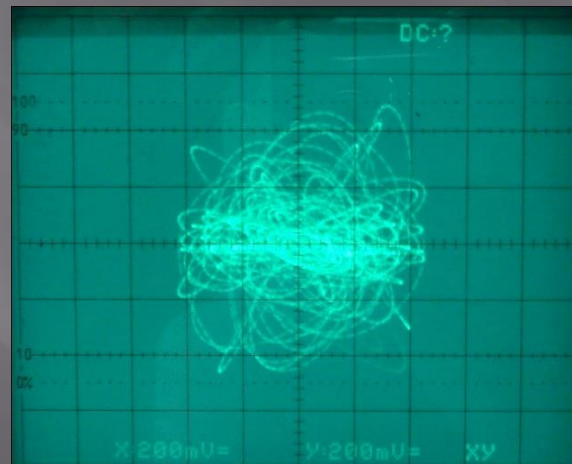
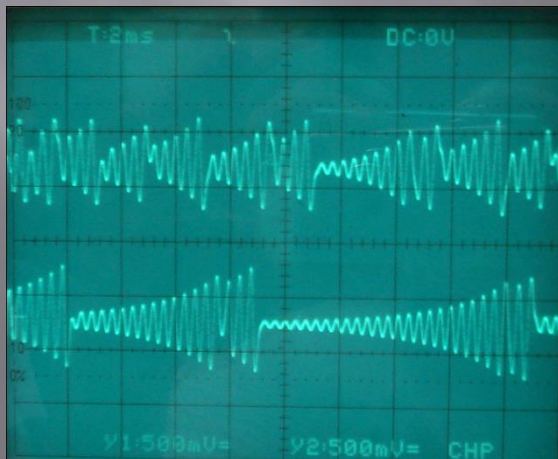
Μη Συγχρονισμός: $R_x > 1.67K\Omega$

Φασικές Απεικονίσεις και Χρονοσειρές των Σημάτων για VC2 με VC2'

$R_x=1.35K\Omega$



$R_x=4K\Omega$



Συμπέρασμα

Στη μονόδρομη σύζευξη πετυχαίνουμε συγχρονισμό πιο εύκολα από ότι στην αμφίδρομη.